



ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



Diogo Filipe Cruz

Sistema de detecção de Homem ao Mar

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na especialidade de
Engenheiros Navais – Ramo de Mecânica



Alfeite

2019



Diogo Filipe Cruz

Sistema de detecção de Homem ao Mar

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na especialidade
de Engenheiros Navais – Ramo de Mecânica

Orientação de: Professor Doutor Bruno Duarte Damas

O Aluno Mestrando

O Orientador

Diogo Filipe Cruz
ASPOF EN-MEC

Professor Doutor Bruno Duarte
Damas

**Alfeite
2019**

"A educação é a ferramenta mais poderosa que podemos usar para mudar o mundo."

Nelson Mandela

Agradecimentos

Deixo escrito o meu mais profundo agradecimento a todos aqueles que contribuíram e tornaram a presente dissertação possível.

Ao meu orientador, Professor Dr. Bruno Damas, pelo apoio, disponibilidade e interesse demonstrado durante a elaboração da dissertação. Os seus conhecimentos e sugestões permitiram enriquecer bastante o trabalho desenvolvido, tornando-o num trabalho mais próximo de estar concluído.

Ao Sargento Chefe ETI Santos Carreira, atualmente na reserva, pela sua disponibilidade e pelos conhecimentos transmitidos em diversas ocasiões.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a dissertação. Desde quem me auxiliou na realização dos diferentes testes, a quem, nos momentos de rumo indefinido, me apoiou com as suas palavras e sugestões.

À minha família pelos valores e educação que me transmitiram, e que me tornam naquilo que sou.

A todas as pessoas com as quais tive oportunidade de me cruzar em diferentes ocasiões, e que contribuíram para a minha formação e educação.

Resumo

Sistema de detecção de Homem ao Mar

A imprevisibilidade de acontecimentos associada à realização de tarefas a bordo de um navio, bem como a impossibilidade de monitorização constante de todos os elementos presentes no mesmo, levanta diferentes questões. Uma dessas questões está relacionada com a capacidade de detecção de um elemento que tenha caído ao mar. Desta forma, este trabalho estuda a viabilidade de um sistema de detecção automático de uma situação de Homem ao Mar nos navios da Marinha Portuguesa.

Inicialmente são definidos os principais objetivos do trabalho e quais as características que o sistema de detecção deve possuir, sendo que se pretende desenvolver um sistema que: seja facilmente integrado nos fatos de embarque utilizados na Marinha Portuguesa, de forma não intrusiva; permita uma baixa necessidade manutenção, através de um baixo consumo de energia; identifique a situação de Homem ao Mar e permita a existência de um alarme no navio, indicando a localização do elemento da guarnição que caiu ao mar.

Após isso, é feito um estudo acerca de alguns dos sistemas de detecção de Homem ao Mar atualmente existentes, comparando-os e enunciando as vantagens e desvantagens dos mesmos. Após este estudo, é proposta uma arquitetura para o sistema de detecção com base em tecnologia IoT, sendo no capítulo seguinte desenvolvido um protótipo do sistema de detecção de Homem ao Mar, com base nessa mesma arquitetura. O protótipo desenvolvido permitiu a realização de testes que, com base nos resultados positivos observados, validam o conceito apresentado.

Na parte final do trabalho são apresentadas as características pretendidas para o sistema final de detecção de Homem ao Mar, as principais conclusões acerca da realização do mesmo e algumas linhas orientadoras para a realização de trabalho futuro.

Palavras-chave: detecção de Homem ao Mar, sistema embestado, dispositivo vestível

Abstract

Man Overboard detection system

The unpredictability of events on board of a ship, as well as the impossibility of monitoring all the elements present on it, raises different questions. One of these questions is related with the ability to detect an element that has fallen overboard. Thus, this work studies the viability of a Man Overboard detection system in the Portuguese Navy ships.

Initially, the main objectives of the work are defined as well as the characteristics that the detection system should have. It is intended to develop a system that should: be easily integrated into the work coveralls used in the Portuguese Navy; allow low maintenance needs by having a low energy consumption; identify the Man Overboard situation and start a alarm on the ship to indicate the location of the crew element that has fallen overboard.

After that, a study is made about some of the currently existing Man Overboard detection systems, comparing them and stating their advantages and disadvantages. Following this study, an architecture for the IoT technology based detection system is proposed, and a prototype Man Overboard detection system based on the same architecture is developed. The developed prototype allowed the performance of tests that, based on the positive results observed, validate the presented concept.

The final part of the paper presents the characteristics intended for the final Man Overboard detection system, the main conclusions about the work developed and some guidelines for future work.

Keywords: Man Overboard detection, embedded system, wearable device

Índice

Epígrafe	i
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Introdução	1
1 Objetivo	5
1.1 Questões	5
1.2 Características do sistema de detecção de Homem ao Mar	6
2 Dispositivos de detecção de Homem ao Mar	9
2.1 Principais características	9
2.1.1 ALERT418® Man-Overboard Transmitter	9
2.1.2 sMRT V100	10
2.1.3 Sea-Tags	11
2.1.4 OLAS Tag	11
2.1.5 Raymarine LifeTag	12
2.1.6 Man Overboard Detection	13
2.2 Análise e comparação	14
2.3 Vantagens e Desvantagens	15

3	Arquitetura proposta	17
3.1	Diagrama Conceptual	18
3.1.1	Dispositivo individual de detecção de Homem ao Mar	18
3.1.2	Estação base de Detecção de Homem ao Mar	19
3.2	Algoritmo de detecção de Homem ao Mar	19
3.3	Microcontrolador	20
3.3.1	ESP32	22
3.3.2	Modos de funcionamento ESP32	23
3.4	GPS	26
3.5	Comunicação entre o dispositivo individual e a estação base	27
3.5.1	LoRa	27
3.6	Sensores para detecção de situação de Homem ao Mar	28
3.6.1	Detecção de queda	28
3.6.2	Detecção de contacto com a água	30
3.7	Botão adicional	30
4	Desenvolvimento de protótipo	31
4.1	Material adquirido	31
4.1.1	Wemos TTGO T-Beam	31
4.1.2	Wemos SX 1278 LoRa ESP32	31
4.1.3	Sensor de humidade FC-37	32
4.1.4	Acelerómetro e giroscópio MPU6050	33
4.1.5	Bateria 18650 Ultrafire 3,7 V 4200 mAh	34
4.1.6	Botão adicional	34
4.2	Dispositivo individual de detecção de Homem ao Mar	35
4.2.1	Componentes e ligações existentes	35
4.2.2	Placa de circuito impresso	38
4.2.3	Consumo de energia	39
4.2.4	Caixa de proteção	41

4.3	Estação base de deteção de Homem ao Mar	44
4.4	Programação Arduino IDE	46
4.4.1	Modo adormecido profundo ESP32	46
4.4.2	Interrupção causada pela deteção de queda livre	47
4.4.3	Valor de referência para a deteção de água	47
4.4.4	Botão adicional	48
4.4.5	Envio de pacote de dados LoRa	48
4.4.6	Código final	49
5	Validação experimental	51
5.1	Testes iniciais	51
5.1.1	Capacidade de comunicação LoRa	52
5.1.2	Deteção de queda através do acelerómetro MPU6050	52
5.1.3	Deteção de água através do sensor de deteção FC-37	53
5.1.4	Botão de emergência	53
5.2	Testes a bordo NRP Almirante Gago Coutinho	54
5.3	Testes finais	55
5.4	Resultados observados	59
6	Dispositivo final	61
6.1	Miniaturização	61
6.2	Aumento de autonomia	62
6.3	Estanquidade	64
6.4	Recetor a bordo	64
	Conclusão	67
	Referências bibliográficas	71
A	Código desenvolvido para testes iniciais	75
A.1	Comunicação LoRa	75

A.2	Deteção de água	77
A.3	Deteção de queda	79
B	Código utilizado para a definição de valores de correção MPU6050	83
C	Código desenvolvido para o dispositivo individual de deteção	91
D	Código desenvolvido para a estação base	97

Lista de Figuras

2.1	ALERT418® Man-Overboard Transmissor e Recetor	10
2.2	sMRT V100	11
2.3	Pulseira Sea-Tags	12
2.4	Pulseira OLAS Tag	12
2.5	Sistema Raymarine LifeTag	13
2.6	Sistema Man Overboard Detection Puretech Systems	14
3.1	Dispositivo individual de deteção de Homem ao Mar	18
3.2	Estação base sistema de deteção de Homem ao Mar	19
3.3	Algoritmo de deteção de Homem ao Mar	21
3.4	Módulos ESP32 (Espressif Systems (Shanghai) CO, 2019b)	23
3.5	ESP32 Modo Activo (Last Minute Engineers, 2019)	24
3.6	ESP32 Modo Adormecido (Last Minute Engineers, 2019)	24
3.7	ESP32 Modo Adormecido Leve (Last Minute Engineers, 2019)	25
3.8	ESP32 Modo Adormecido Profundo (Last Minute Engineers, 2019)	25
3.9	ESP32 Modo Hibernação (Last Minute Engineers, 2019)	26
3.10	Tecnologia LoRa (Semtech, 2019)	28
4.1	Wemos TTGO T-Beam (Banggood, 2019b)	32
4.2	Características Wemos TTGO T-Beam (Banggood, 2019b)	33
4.3	Wemos SX1278 LoRa ESP32 (Banggood, 2019d)	34
4.4	Características Wemos SX1278 LoRa ESP32 (Banggood, 2019d)	35

4.5	Sensor de detecção de água FC-37 (Banggood, 2019c)	36
4.6	MPU6050 (Banggood, 2019a)	36
4.7	Bateria 18650 Ultrafire 3,7 V 4200 mAh (Ebay, 2019)	37
4.8	Botão adicional com LED	37
4.9	Esquema de ligações	38
4.10	Placa de circuito impresso Fritzing	39
4.11	Placa de circuito impresso	39
4.12	Consumo de energia Wemos TTGO T-Beam	40
4.13	Consumo de energia Wemos SX1278 LoRa ESP32	41
4.14	Caixa de proteção em SolidWorks	42
4.15	Componentes da caixa de proteção em SolidWorks	43
4.16	Software Ultimaker Cura	44
4.17	Caixa de proteção impressa em PLA	44
4.18	Tampas da caixa de proteção impressas em PLA	45
4.19	Estação base	45
4.20	Deteção de queda através de aceleração de um dos eixos (InvenSense, 2013)	48
5.1	Gráfico de valores observados sensor de detecção FC-37	54
5.2	Distância medida comunicações LoRa	55
5.3	Elemento com dispositivo individual de detecção	56
5.4	Posição de queda A	56
5.5	Posição de queda B	57
5.6	Identificação de posição através do OpenCPN	58
5.7	Distância registada durante a simulação de situação de Homem ao Mar	58
6.1	Bateria LiPo 3,7 V e 700 mAh Gearbest, 2019	63

Lista de Tabelas

2.1	Dispositivos de detecção de Homem ao Mar	14
5.1	Valores de correção MPU6050	53

Introdução

Os navios existentes na Marinha Portuguesa realizam diferentes tarefas, que têm como principal objectivo contribuir para que Portugal use o mar. Tendo em conta o elevado número de tarefas e a especificidade das mesmas é necessário a existência de uma estrutura que permita responder pronta e eficazmente. É nessa estrutura que estão inseridas as pessoas responsáveis por assumir as diferentes funções existentes a bordo de um navio. As condições climatéricas, muitas vezes exigentes, o nível de stress, a instabilidade do navio enquanto plataforma, são algumas das dificuldades que se encontram na realização destas funções. A necessidade de contacto com o exterior do navio para o cumprimento de algumas destas funções representa muitas vezes uma situação de perigo, que poderá evoluir para uma situação de Homem ao Mar. Não existindo qualquer tipo de monitorização activa dos elementos de bordo, e caso não seja imediatamente detectada, a queda de um elemento poderá significar a perda de uma vida humana.

A exposição do corpo a água demasiado fria leva a alterações no funcionamento do mesmo. Estas alterações, que podem levar à morte em poucos minutos, distribuem-se por 4 fases (Treaty, 2008). Cada uma destas fases permite identificar as diferentes alterações e as consequências das mesmas.

- Fase 1. Resposta à imersão inicial ou choque frio devido ao arrefecimento da pele;
 - Ocorre uma inspiração rápida através da boca seguida de um aumento de ventilação pulmonar, que causa aumento do batimento cardíaco e de pressão sanguínea. Leva à ocorrência de espasmos, contracções musculares e até afogamento. Os efeitos duram até ao terceiro minuto de imersão, estando associados ao contacto inicial com a água. Causam a morte entre o terceiro e o quinto minuto de imersão.
- Fase 2. Imersão parcial ou incapacidade de nadar corretamente;
 - O contacto com água a temperaturas inferiores a 15 °C leva a um rápido arrefecimento dos músculos e dos nervos. A capacidade de nadar é assim afetada, existindo uma diminuição do ângulo de ataque, aumento do atrito e aumento do batimento cardíaco. O cansaço resultante da luta contra as ondas, dos gritos de socorro e do movimento dos

braços, leva a uma imersão completa entre o quinto e trigésimo minuto de imersão.

- Fase 3. Hipotermia;
 - Por definição, assume-se hipotermia como a descida da temperatura corporal para um valor igual ou inferior a 35 °C. A descida de temperatura provoca a perda de consciência, que leva à perda de capacidades e a paragem cardíaca, provocando a morte destas duas formas. Um indivíduo que não tenha o vestuário adequado, sobreviverá no máximo seis horas, estando em contacto com água à temperatura de 15 °C. Normalmente, a diminuição de temperatura corporal leva à morte, por paragem cardíaca, quando o corpo atinge os 24 °C.
- Fase 4. Colapso após o resgate;
 - Cerca de 20 % das mortes devido a queda ao mar acontecem enquanto se retira a pessoa da água ou poucas horas depois do resgate da mesma. A morte acontece devido ao colapso da pressão sanguínea, existente quando se retira a vítima da água.

Podemos assim observar que, numa situação de Homem ao Mar, devido às alterações corporais resultantes da exposição do corpo à água fria, bem como às condições meteorológicas e ao estado do mar, que dificultam muitas vezes o resgate, as hipóteses de sobrevivência são bastante reduzidas.

De acordo com a recolha de dados realizada por um professor da área dos estudos marítimos da Newfoundland and Labrador's University, universidade situada no Canadá, desde o ano 2000 até ao presente registaram-se 348 situações de Homem ao Mar nas principais frotas de navios de cruzeiro (Ross A. Klein, 2019). Até meados de 2017, do total de situações ocorridas, em apenas 17 % destas existiu o resgate da vítima (Spinks, 2018). Embora estes dados sejam relativos a uma parte bastante específica da indústria marítima, a dos navios de cruzeiro, permitem a sensibilização para a baixa probabilidade de existência de resgate numa situação de Homem ao Mar.

A ocorrência de um caso de Homem ao Mar representa momentos de alta tensão sendo fundamental existir uma rápida resposta por forma a permitir o resgate do elemento. Existe assim um conjunto de ações pré-estabelecidas que devem ser prontamente colocadas em prática, após ser dado o alarme inicial de Homem ao Mar. Embora esteja previsto um determinado conjunto de ações, e mesmo com a existência de treino contínuo através da realização de exercícios de Homem ao Mar, existem vários fatores que podem dificultar o resgate. Desses fatores destacam-se:

- Condições de visibilidade reduzida;
 - Caso não exista contacto visual com a vítima desde o momento do alarme inicial e uma rápida resposta por parte dos restantes elementos de bordo, o contacto visual com a

vítima é muito improvável. A perda de contacto visual, ou a não existência de contacto visual, leva a aumento significativo do tempo de resgate, dificultando-o.

- Situação noturna de Homem ao Mar.
 - Em caso de situação de Homem ao Mar durante a noite, pela falta de luminosidade e pela quase não existência de pessoas no exterior do navio, é bastante improvável que o alarme inicial seja dado no momento da queda, o que se traduz na necessidade de localização da vítima e na incerteza do tempo decorrido desde a queda até ao alarme inicial.

Verifica-se assim que caso o tempo de resposta inicial à situação de Homem ao Mar não seja adequado, ou não exista possibilidade de contacto visual com a vítima, o resgate torna-se bastante difícil. A existência de tecnologia que permitisse identificar a situação de Homem ao Mar e a localização do elemento imediatamente após a queda ocorrer, permitiria aumentar de forma significativa a probabilidade de resgate.

Nesse sentido, este trabalho procura estudar o desenvolvimento de um sistema de deteção de Homem ao Mar nos navios da Marinha Portuguesa que tem como principal objetivo garantir o alarme imediatamente após a queda de um elemento à água, bem como a sua localização. Desta forma, espera-se reduzir o tempo que ocorre entre a queda e a recolha do náufrago, permitindo uma resposta eficaz a este tipo de situação. Para além de permitir a identificação e localização, o sistema que se procura desenvolver deverá possuir características que o tornem facilmente aplicável. Desta forma definiu-se que o sistema de deteção de Homem ao Mar proposto deveria ser um sistema de baixo custo, não intrusivo e de fácil incorporação nos fatos de embarque.

A evolução tecnológica ocorrida nos últimos anos permite diferentes ideias com enorme aplicabilidade prática nas mais diversas áreas científicas. Este trabalho procura ser um exemplo disso mesmo.

O trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos principais. No primeiro capítulo são apresentadas algumas das principais questões entendidas como motivação para a realização deste trabalho, bem como o conjunto de características às quais o sistema de deteção proposto deverá obedecer. No capítulo 2 é feito um estudo relativamente aos diferentes sistemas de deteção de Homem ao Mar atualmente existentes. Procura-se assim identificar as principais vantagens e desvantagens dos diferentes dispositivos apresentados, possibilitando um comparativo entre os diferentes sistemas de deteção já existentes e o sistema de deteção desenvolvido. No capítulo 3 é proposta uma arquitetura para o sistema de deteção de Homem ao Mar que se pretende desenvolver. A arquitetura proposta tem por base a utilização de dispositivos relacionados com *Internet of Things*, IoT, sendo neste capítulo descritos os componentes do sistema de deteção, as suas principais funcionalidades e de que forma se deverão relacionar os diferentes componentes por forma a

permitir a identificação e localização de um elemento em situação de Homem ao Mar. O capítulo 4 trata o desenvolvimento do protótipo do sistema de deteção, com base nas características propostas no capítulo 3. Apresenta-se assim neste capítulo o diferente material adquirido, o desenvolvimento do protótipo para o dispositivo individual de deteção de Homem ao Mar e para a estação base e ainda o código de programação utilizado. No capítulo 5 são descritos os testes realizados através da utilização do protótipo desenvolvido, bem como algumas correções ao código desenvolvido com base nos testes realizados. O capítulo 6 descreve as características que o sistema de deteção de Homem ao Mar final deverá ter com base nos resultados observados. Por fim, no último capítulo deste trabalho, na conclusão, são apontados os principais méritos e lacunas do trabalho e direções para realização de trabalho futuro.

Capítulo 1

Objetivo

O objetivo do trabalho consiste no estudo da aplicabilidade de um sistema de deteção de Homem ao Mar nos navios da Marinha Portuguesa. Por forma a cumprir esse mesmo objetivo, pretende-se, através de utilização de tecnologia recente, desenvolver um sistema de deteção de Homem ao Mar que garanta o alarme imediatamente após a ocorrência do evento e que permita a localização do elemento. Este sistema deverá ser composto por uma estação base, que permita o alarme no navio e que receba a informação com a identificação da posição do elemento em causa, e por dispositivos individuais de deteção, que tenham capacidade para identificar uma situação de Homem ao Mar, localizando a posição do elemento e transmitindo essa informação para a estação base. Esta temática exige que sejam levantadas diferentes questões e que se defina determinadas características necessárias do sistema, tendo em conta um conjunto de limitações existentes à priori.

1.1 Questões

Tendo em conta a pertinência do tema são diversas as questões que se levantam num trabalho deste tipo, nomeadamente:

- Como detetar uma situação de Homem ao Mar?
- Que tipo de tecnologia pode ser aplicada?
- Como transmitir a informação de situação de Homem ao Mar e desencadear o alarme no navio?
- Quanto tempo demora entre a deteção, transmissão e alarme no navio?
- Existe possibilidade de localizar o Homem ao Mar?
- Como identificar/evitar um falso positivo?

- Qual a impacto da água salgada no sistema de deteção?

1.2 Características do sistema de deteção de Homem ao Mar

Por forma a criar um sistema de deteção que possa ser aplicado na Marinha Portuguesa consideraram-se um conjunto de características, às quais o sistema que se pretende desenvolver deve obedecer, e que são:

- Baixo custo;
 - O custo inicial de desenvolvimento do sistema de deteção de Homem ao Mar, bem como o custo de aplicação do mesmo sistema nas diferentes unidades navais, não deverá representar uma quantia elevada quando comparada a outro tipo de despesas que possam existir, e que sejam consideradas fundamentais para a operação dos navios e para o cumprimento das diferentes missões da Marinha Portuguesa.
 - Existindo a necessidade de garantir que todos os elementos das diferentes guarnições dos navios possuem um dispositivo individual de deteção, é necessário que o custo de produção destes mesmos dispositivos individuais seja relativamente baixo, por forma a poder ser utilizado por todos.
- Simples instalação;
 - O sistema deverá ser simples o suficiente, permitindo tirar partido dos diferentes equipamentos existentes a bordo dos navios e não exigindo grande tipo de alterações. Ao garantir a utilização de um sistema relativamente simples procura-se garantir uma fácil instalação do sistema nos diferentes navios, contribuindo para agilizar o processo de aceitação do sistema.
- Aplicável nos fatos de embarque.
 - A necessidade de existência de dispositivos individuais de deteção, levanta questões relativamente à sua aplicação e utilização. A integração destes dispositivos de deteção nos fatos de embarque foi a solução considerada por forma a garantir a utilização dos dispositivos. Embora os elementos da guarnição não utilizem de forma contínua o fato de embarque, este representa o uniforme mais utilizado durante a navegação, sendo por isso a escolha lógica para a aplicação dos dispositivos individuais. A aplicação do dispositivo nos fatos de embarque traduz-se na verificação dos seguintes requisitos:
 - * Valor de autonomia considerável;
 - O dispositivo individual deverá apresentar um valor de autonomia considerável, garantindo que a alimentação de energia não necessita de ser substituída num

intervalo demasiado curto de tempo. A ideia é tornar o dispositivo menos inconveniente possível, não necessitando de intervenções regulares, contribuindo diretamente para uma mais fácil utilização.

- * Pequenas dimensões;

- O dispositivo individual deverá ser de pequenas dimensões e peso, evitando que a sua utilização possa vir a ser evitada devido a ser considerada desconfortável ou por incompatibilidade com o desempenho de determinadas funções.

- * Relativamente discreto.

- Embora seja importante garantir que o dispositivo apresenta pequenas dimensões e peso, é também necessário garantir que é discreto o suficiente. Ao garantir a discrição do dispositivo no fato de embarque garante-se de alguma forma a sua mais fácil aceitação.

Pretende-se assim, ao criar um sistema de deteção de Homem ao Mar, com as características definidas nos pontos anteriores, que este trabalho possa representar no futuro a utilização de um sistema de deteção de Homem ao Mar e que a utilização desse mesmo sistema seja uma realidade para todos os navios da Marinha Portuguesa.

Capítulo 2

Dispositivos de detecção de Homem ao Mar

A existência e desenvolvimento de diferentes atividades marítimas implica um constante contacto com a tecnologia, por forma a garantir uma adequada dinamização destas mesmas atividades. É nesse aspeto que surgem diferentes soluções tecnológicas que têm como objetivo reforçar a segurança de todos aqueles que andam no mar, desde aqueles que navegam em embarcações de recreio àqueles que navegam em navios mercantes. Neste capítulo, apresentam-se algumas das diferentes soluções de detecção de Homem ao Mar que são atualmente comercializadas e que promovem o aumento da segurança em diferentes atividades marítimas.

2.1 Principais características

2.1.1 ALERT418® Man-Overboard Transmitter

Este dispositivo, desenvolvido e comercializado pela Emerald Marine Products, possui um transmissor que, quando imerso em água, alerta a guarnição da existência de uma situação de Homem ao Mar. É automaticamente ativado, utilizando a frequência de 418 MHz para comunicar com o recetor existente no navio, sendo este também desenvolvido pela marca.

O dispositivo pesa 0,102 kg e tem as seguintes dimensões: 108 x 38 x 25 mm. O alcance máximo é de 1 milha náutica. Possui 6 luzes LED, ativadas através do contacto com a água e que emitem luz flash durante a transmissão, permitindo a existência de iluminação e melhoria de visibilidade junto do naufrago. Para além das luzes LED, dispõe de uma bolsa de proteção, que evita a ativação do transmissor devido a más condições meteorológicas. O transmissor está normalmente em estado ativo, existindo um botão que permite desativá-lo quando necessário.

Utiliza 2 baterias de lítio, de 3,0 V, do tipo CR123A, possuindo um indicador de nível de bateria baixo. Tem capacidade para operar durante 40 horas à temperatura de -4 °C. As suas características permitem que seja facilmente utilizado com um colete salva-vidas. O dispositivo permite também a ligação a um sistema de identificação de posição, identificando automaticamente o local onde ocorreu a queda ao mar. O preço do dispositivo é cerca de 261 Euros, não contemplando o recetor, que tem um custo de aproximadamente 1658 Euros (Emerald Marine Products, 2017).



Figura 2.1: ALERT418® Man-Overboard Transmissor e Recetor

2.1.2 sMRT V100

O sMRT V100 é um sistema de identificação de Homem ao Mar, que utiliza tecnologia AIS combinada com tecnologia VHF/DSC por forma a transmitir um *distress signal*. sendo desenvolvido pela Marine Rescue Technologies, empresa que comercializa e desenvolve sistemas de segurança marítima à cerca de 40 anos. Este sistema permite retirar partido da utilização do sistema VHF e AIS, presente em todos os navios aprovados pela convenção SOLAS, o que facilita a sua utilização, não sendo necessário a instalação de nenhum equipamento a bordo do navio. Quando em contacto com a água, o sMRT 100 é automaticamente ativado, enviando um alerta para todos os rádios VHF DSC que estejam ao seu alcance, o que permite uma rápida identificação de situação de Homem ao Mar. As suas dimensões são: 51 x 137 x 26 mm, pesa 0,168 kg e possui uma bateria de 9.0 V 1500 mAh de Lítio e Dióxido de Manganês com uma duração mínima de 12 horas a cerca de -20 °C, necessitando de ser trocada de 5 em 5 anos. Para além de ativado através do contacto com água, pode ainda ser ativado manualmente ou através da insuflação do colete salva-vidas. Demora 45 s, a partir do momento em que é ativado, a indicar uma posição GPS válida e atualiza essa mesma posição de minuto a minuto via AIS. Cada dispositivo possui um determinado *Maritime Mobile Service Identity*, MMSI, sendo possível detetar diferentes dispositivos em simultâneo. Possui um alcance de transmissão de 15 milhas náuticas, NM, à superfície e 150 NM da superfície para o ar. Tem um custo de cerca de 340 Euros (Marine Rescue Technologies, 2014).



Figura 2.2: sMRT V100

2.1.3 Sea-Tags

Este sistema de deteção de Homem ao Mar, produzido pela SECURITAG SAS, permite detetar a ocorrência de uma situação de queda ao mar através da utilização de uma simples pulseira e de um telemóvel. Através de tecnologia Bluetooth, a pulseira transmite um número de identificação, que é detetado por telemóveis que tenham a aplicação Sea-Tags. O sinal transmitido pela pulseira não é emitido quando a pulseira está imersa, desta forma, é possível detetar a queda de um elemento à água. Assim que o sinal deixa de ser emitido, a aplicação regista as coordenadas GPS e emite um alarme visual e audível. A aplicação permite ainda saber a distância ao local onde ocorreu a perda de sinal. O dispositivo tem como dimensões 36 x 32 x 9 mm, pesa 0,013 kg e utiliza baterias CR2032 de 3,0 V, que lhe permite uma autonomia de 600 horas, admitindo a utilização contínua do dispositivo. O seu alcance é de 100 m em espaço aberto. Este sistema deve apenas ser utilizado em embarcações com um comprimento de até 15 m e que não sejam de aço ou carbono. Cada pulseira tem um custo de 89 Euros (Sea Tags, 2017).

2.1.4 OLAS Tag

A OLAS Tag, produzido pela OLAS Exposure, consiste num pequeno dispositivo de tecnologia Bluetooth, de dimensões 60 x 35 x 15 mm, que pesa 0,020 kg, e que utiliza uma bateria CR2477 de Lítio, substituível e que tem autonomia para operar continuamente durante 4 meses. Em caso de ocorrência de situação de Homem ao Mar, no espaço de 8 s, a aplicação criada para monitorizar as pulseiras OLAS Tag deteta uma quebra e faz soar o alarme. A aplicação identifica a posição GPS e permite a rápida recolha do elemento. Para além disso guarda a posição e a data do incidente, enviando-o para os serviços de resgate, se necessário. Tem um alcance de 15 m e o custo de



Figura 2.3: Pulseira Sea-Tags

aproximadamente 56 Euros (Ultimate Sports Engineering Ltd, 2018).



Figura 2.4: Pulseira OLAS Tag

2.1.5 Raymarine LifeTag

Desenvolvido pela Raymarine, este sistema de detecção de Homem ao Mar, tem como principal campo de aplicação as embarcações de lazer. Para tal, utiliza uma estação (estação base LifeTag), que possui um LED indicador de estado, e que garante a comunicação entre os módulos, ativa o alarme, e possibilita a conexão com outros equipamentos da Raymarine; dois módulos individuais de detecção LifeTag com um tamanho de 49 x 57 x 24 mm e antena integrada, cujo peso é de cerca de 0,043 kg, que possuem uma pequena cinta, permitindo a sua fácil acoplação ao pulso, a uma peça de vestuário ou ao cinto, um botão de emergência e que são alimentados por uma bateria de 3,0 V CR2 de lítio substituível, com duração expectável de um ano (com 2000 horas de operação) e por fim, um alarme, de simples alimentação, que permite que seja facilmente identificável uma

situação de Homem ao Mar.

Quanto ao modo de funcionamento, a estação base, através de tecnologia Wireless, está em constante contacto com cada um dos módulos individuais, identificando se os mesmos se encontram dentro do raio de segurança (aproximadamente 10 m). Sempre que exista a queda de um elemento ao mar, ou exista um dos módulos individuais a uma distância superior a 9 m do raio de segurança, o mesmo é detetado pela estação base, o que faz soar o alarme. O módulo individual pode ainda ser ativado manualmente, pressionando para isso o botão vermelho de emergência. No total, podem existir cerca de 16 módulos individuais ligados à mesma estação base. A Raymarine comercializa este produto, que inclui um estação base LifeTag, dois módulos individuais de deteção e um alarme, por aproximadamente 560 Euros, permitindo que as outras pulseiras possam ser adquiridas posteriormente por cerca de 180 Euros (Raymarine, 2006).



Figura 2.5: Sistema Raymarine LifeTag

2.1.6 Man Overboard Detection

Com o objetivo de detetar uma situação de Homem ao Mar, a Puretech Systems, desenvolveu um sistema de deteção bastante diferente dos até agora apresentados. Baseia-se em câmeras de vigilância espalhadas pelo navio, que através de tecnologia de infravermelhos deteta fontes de calor. As câmeras são colocadas à proa, popa e bordas do navio, garantindo uma cobertura efetiva de todo o navio. Associado às câmeras está um programa que permite analisar os dados recolhidos pelas câmeras e identificar não só diferentes situações, desde a queda de um simples objeto à queda de uma pessoa, bem como o pavimento em que a queda ocorreu. Após identificada uma determinada situação é registada a posição em que ocorreu e é dado um alarme geral. O principal campo de aplicação deste sistema são navios de cruzeiro (PureTech Systems, 2017).

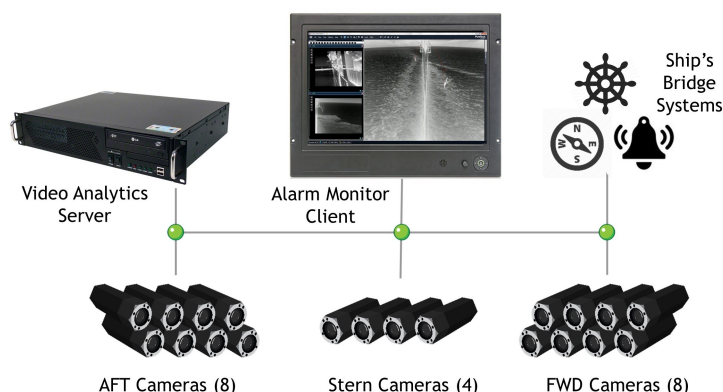


Figura 2.6: Sistema Man Overboard Detection Puretech Systems

	Peso [kg]	Dimensões [mm ³]	Bateria	Comunicação	Alcance [m]	Autonomia [h]	Preço [€]
ALERT418®	0,102	108 x 38 x 25	2 x 3,0 V CR123A Li	418 MHz	1 NM	40	261
sMRT V100	0,168	51 x 137 x 26	9,0 V 1500 MAh LiMnO2	VHF DSC (156 MHz)	15 NM	12	340
Sea-Tags	0,013	36 x 32 x 9	3,0 V CR2032	Bluetooth	100	600	89
OLAS Tag	0,020	60 x 35 x 15	CR2477 Li	Bluetooth	15	4 meses	56
Raymarine LifeTag	0,043	49 x 57 x 24	3,0 V CR2 Li	ZigBee	9	2000	180

Tabela 2.1: Dispositivos de detecção de Homem ao Mar

2.2 Análise e comparação

Na tabela 2.1 podemos observar as principais características dos dispositivos de detecção de Homem ao Mar apresentados, que entendem a utilização de um dispositivo individual de detecção. Fazendo uma rápida análise às características observadas, verificamos que os dispositivos de detecção ALERT418® e sMRT, utilizados sobretudo em embarcações de maiores dimensões, possuem características diferentes daquelas que os dispositivos de detecção Sea-Tags, OLAS Tag e Raymarine LifeTag, por sua vez desenvolvidos a pensar em pequenas embarcações de recreio, apresentam. De acordo com as diferentes características, é possível agrupar os dispositivos apresentados na tabela 2.1 em dois grupos distintos de dispositivos de detecção. Consideremos assim o grupo A, composto pelos dispositivos de detecção ALERT418® e sMRT, e o grupo B, composto pelos dispositivos Sea-Tags, OLAS Tag e Raymarine LifeTag. Verificam-se as seguintes diferenças entre os dois grupos:

- O peso dos dispositivos do grupo A é superior ao peso dos dispositivos do grupo B;
- Os dispositivos do grupo B apresentam dimensões reduzidas comparativamente aos dispositivos do grupo A;
- O tipo de comunicações utilizada é diferente nos dois grupos. O grupo A comunica com a estação base através de uma frequência na banda dos MHz, enquanto o grupo B utiliza frequências na banda dos GHz;

- Face aos dispositivos do grupo B, os dispositivos do grupo A oferecem um maior alcance em termos de comunicações;
- Os dispositivos do grupo B apresentam uma maior autonomia do que os do grupo A;
- O preço dos dispositivos do grupo B é mais baixo do que o preço dos dispositivos do grupo A.

2.3 Vantagens e Desvantagens

A comparação realizada no capítulo anterior permite identificar vantagens e desvantagens nos dois grupos de dispositivos. Ao identificar as vantagens e desvantagens dos dispositivos analisados é possível entender quais as principais características a ter em conta num sistema de detecção de Homem ao Mar.

Os dispositivos do grupo A comparativamente aos do grupo B, têm a grande vantagem de garantir um maior alcance de comunicações entre a estação base e o dispositivo individual de detecção. No entanto, para que tal seja possível é necessário recorrer a tecnologia mais cara, o que se reflete no preço final dos dispositivos, superior ao preço dos dispositivos do grupo B. Em termos de peso, dimensões e autonomia são também menos interessantes do que os dispositivos do grupo B. Ainda acerca do seu peso e dimensões, é importante referir que apresentam algumas limitações face à sua utilização constante, estando a utilização associada juntamente à utilização de um colete salva-vidas, algo que acaba por não ser de todo prático.

Quanto aos dispositivos do grupo B, quando comparados com os dispositivos do grupo A, é possível identificar que são dispositivos bastante interessantes do ponto de vista da portabilidade e da sua utilização constante, apresentando baixo peso, pequenas dimensões e relativa autonomia, mas que possuem um alcance de comunicações bastante limitado. A tecnologia utilizada para as comunicações, tecnologia Bluetooth no caso dos dispositivos Sea-Tag e OLAS Tag, e ZigBee no caso do dispositivo Raymarine LifeTag, é considerada tecnologia de mais baixo custo, sendo que, quer a tecnologia Bluetooth, quer a tecnologia ZigBee, são normalmente tecnologias utilizadas em dispositivos com baixa potência de operação e onde não é necessário uma elevada taxa de transmissão de dados. Embora apresentem baixo custo, sendo extremamente válidas nesse aspeto, têm como grande limitação o alcance das comunicações.

Embora não tenha sido referido anteriormente, o preço apresentado na tabela 2.1 é relativo apenas ao dispositivo individual de detecção, não incluindo o valor da estação base. A existência de uma estação base, responsável pela receção do sinal enviado pelo dispositivo individual, em alguns dos dispositivos apresentados, implica um aumento considerável no valor final desses sistemas de detecção, o que deve ser considerado como um ponto menos positivo.

O sistema Man Overboard Detetion, figura 2.6, por ter um principio de funcionamento diferente dos restantes dispositivos de deteção não foi diretamente comparado com estes. É assim importante referir que a utilização de um sistema do género do sistema Man Overboard Detetion, possibilita a monitorização do exterior do navio, necessitando para tal da instalação de câmaras a bordo dos navios onde é utilizada. É um sistema de monitorização ativa e que, embora não necessite da utilização de dispositivos de deteção individual, sendo por isso o sistema utilizado em alguns navios cruzeiro, representa um investimento superior e uma mais difícil adaptação quando comparado com os restantes dispositivos.

Após a análise das vantagens e desvantagens dos dispositivos apresentados é possível entender parte das limitações existentes, sendo que o desenvolvimento de um novo sistema de deteção de Homem ao Mar deverá procurar oferecer diferentes respostas face às limitações encontradas. Por forma a propor um novo sistema de deteção de Homem ao Mar, capaz de superar algumas das limitações identificadas, será interessante ter em conta algumas questões, como por exemplo:

- Que tipo de tecnologia existe, que possibilite comunicações de longa distância sem comprometer o preço final do dispositivo?
- De que forma será possível garantir um valor de autonomia considerável?
- Qual será o peso final do dispositivo?
- Quais serão as dimensões mínimas alcançáveis?

Capítulo 3

Arquitetura proposta

Após ter sido possível analisar as vantagens e desvantagens de alguns dos diferentes tipos de dispositivos de detecção de Homem ao Mar atualmente existentes, bem como entender quais as principais limitações desses mesmos dispositivos, foi necessário definir a arquitetura pretendida para o novo sistema de detecção de Homem ao Mar. Assim, existiu a necessidade de utilizar a aprendizagem obtida, com a análise dos dispositivos de detecção apresentados anteriormente, juntamente com alguma pesquisa acerca do tipo de hardware e software disponível por forma a criar a arquitetura do sistema de detecção de Homem ao Mar, que fosse ao encontro dos objetivos do trabalho.

A revolução industrial que ocorre nos dias de hoje é fortemente influenciada pela Internet das Coisas, conhecida por IoT, que em inglês significa *Internet of Things*. O conceito de IoT foi proposto em 1999, a propósito de pesquisas na área de identificação por radiofrequência, RFID, e tecnologias de sensores. Atualmente é a base da tecnologia da Indústria 4.0, caracterizando-se pela utilização de dispositivos permanentemente ligados à Internet que não necessitam de envolvimento humano ativo e que possuem uma enorme capacidade de computação, mesmo que, não sendo normalmente considerados computadores (CNCS, 2019).

A revolução tecnológica criada pela IoT, permitiu a proliferação de hardware de baixo custo com aplicabilidade em diferentes áreas, estando a IoT bastante relacionada com o desenvolvimento de projetos que necessitam de baixo consumo energético e de transmissão de dados entre dispositivos. Entendeu-se assim que seria interessante tirar partido de diferente tipo de hardware e software já existente para aplicações de IoT e aplicá-lo na arquitetura do sistema de detecção de Homem ao Mar.

3.1 Diagrama Conceptual

A proposta de arquitetura do sistema de detecção de Homem ao Mar supõe a utilização de um dispositivo individual de detecção, integrado no fato de embarque, e de uma estação base. O dispositivo individual deverá permitir detetar a ocorrência de uma situação de Homem ao Mar, localizar o elemento que sofreu a queda e transmitir o acontecimento para o navio. No navio, estará colocada a estação base, que receberá a informação relativa ao dispositivo de detecção individual ativado, permitindo assim o alarme de situação de Homem ao Mar.

3.1.1 Dispositivo individual de detecção de Homem ao Mar

O diagrama da figura 3.1 representa a arquitetura do dispositivo individual de detecção de Homem ao Mar. Através da utilização de dois sensores, um responsável pela detecção de queda e outro pela detecção de contacto com água, pretende-se identificar automaticamente uma situação de Homem ao Mar. O controlo dos sensores será realizado através de um microcontrolador. Este, sendo um dos objetivos do trabalho o desenvolvimento de um sistema de relativa autonomia energética, deverá apenas ser ativado em caso de ocorrência de uma situação de Homem ao Mar. Ao garantir a utilização do microcontrolador apenas quando ativado pelos sensores, é possível diminuir o consumo de energia. Após ativado, o controlador deverá enviar o alerta para o navio, necessitando desta forma de um módulo de comunicações, que permita a transmissão de informação para o navio, imediatamente após a ocorrência da queda. A utilização de um GPS no dispositivo individual de detecção têm como objetivo complementar a informação que é transmitida, possibilitando não só o alarme em caso de ocorrência de Homem ao Mar, como também a localização do elemento.

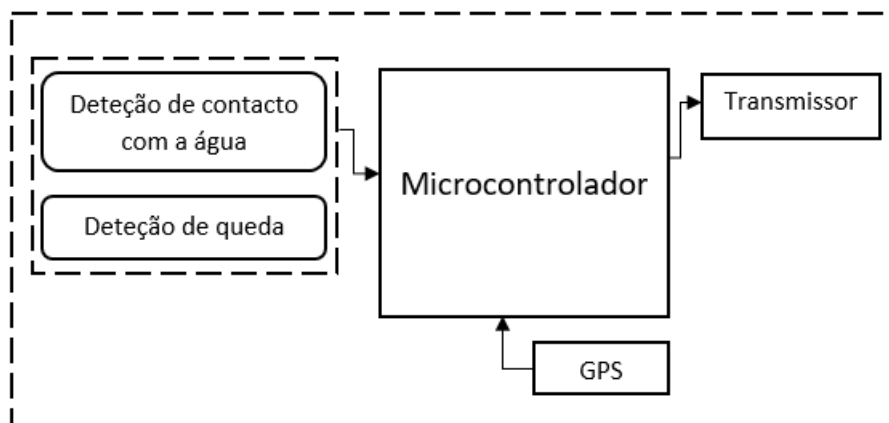


Figura 3.1: Dispositivo individual de detecção de Homem ao Mar

3.1.2 Estação base de Detecção de Homem ao Mar

A arquitetura criada para a estação base é relativamente simples, uma vez que apenas existe necessidade de receber a informação transmitida pelo dispositivo individual de deteção. Assim, a arquitetura criada para a estação base entende a utilização de um módulo de comunicações, que funcionará como recetor de informação, e um microcontrolador, como se mostra na figura 3.2.

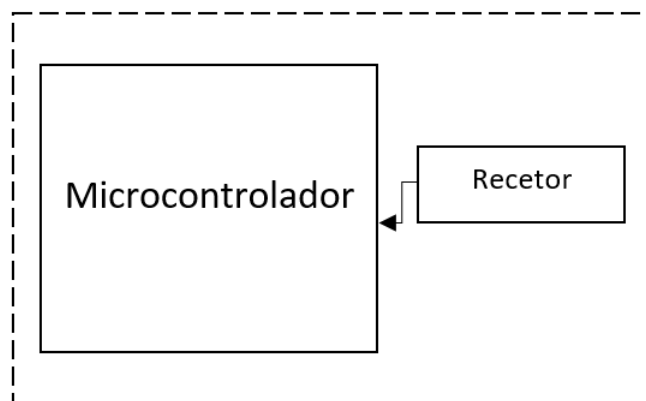


Figura 3.2: Estação base sistema de deteção de Homem ao Mar

3.2 Algoritmo de deteção de Homem ao Mar

Após se ter identificado as necessidades em termos de material necessário para o desenvolvimento do sistema de deteção de Homem ao Mar, existiu a necessidade de criar um algoritmo que permitisse o estudo desse mesmo sistema. Como tal, desenvolveu-se o algoritmo representado na figura 3.3. O microcontrolador a ser utilizado no dispositivo individual de deteção, deverá ser programado para estar normalmente num modo de funcionamento que garanta um baixo consumo de energia, sendo apenas ativado após a deteção de uma queda ou em alternativa após pressionar um botão de emergência.

Imediatamente após detetada a queda de um elemento, o microcontrolador deverá mudar de estado de funcionamento, permitindo obter uma posição GPS recente e verificar se existe contacto com a água, através do sensor de deteção de água. Caso se verifique o contacto com a água, o módulo de comunicações, existente no dispositivo individual de deteção de Homem ao Mar, irá permitir que seja enviada uma mensagem para a estação base, com o alerta de Homem ao Mar e com a última posição recolhida. Por outro lado, caso após um determinado intervalo de tempo não se verifique contacto com a água, ou caso após se ter detetado o contacto com a água seja pressionado o botão de emergência, o microcontrolador termina todos os processos existentes e volta novamente para o estado inicial de funcionamento. A ideia é garantir que o microcontrolador

utiliza o mínimo de energia sempre que possível, voltando ao seu estado normal de funcionamento após a identificação de um falso positivo.

Ao pressionar o botão de emergência, será possível alterar diretamente o modo de funcionamento do microcontrolador. Ao ser pressionado este botão deverá acordar o microcontrolador, permitindo a obtenção de uma posição GPS e envio imediato para estação base de alarme de Homem ao Mar. Pretende-se assim, com a utilização deste botão, aumentar as hipóteses de deteção de Homem ao Mar, caso não seja identificada a queda. Este botão irá também permitir anular falsos alarmes, caso seja pressionado após o microcontrolador já não se encontrar no modo de baixo consumo de energia.

3.3 Microcontrolador

Um microcontrolador é um circuito integrado simples, normalmente utilizado para a realização automática de determinadas tarefas ou controlo de dispositivos. Tem a capacidade de receber diferentes informações, processando-as e permitir um determinado acontecimento com base nessas mesmas acções. Funcionam normalmente a baixas frequências, devido ao seu desenvolvimento estar relacionado com aplicações onde exista necessidade de um baixo consumo de energia (Gudino, 2018).

Um microcontrolador é constituído pelos seguintes componentes essenciais:

- Unidade de processamento central, CPU
 - Muitas vezes chamada de microprocessador, a unidade de processamento central permite executar instruções, ler e escrever na memória, interagir com periféricos e responder a pedidos de interrupção externos, entre outras funcionalidades.
- Memória RAM
 - A memória RAM, *Random-Access Memory*, guarda dados temporariamente. Permite rápido acesso a todos os dados, uma vez que se trata de acesso superficial. Aumenta o desempenho dos sistemas, uma vez que permite tratar de uma maior quantidade de dados ao mesmo tempo. A informação armazenada na memória RAM é perdida sempre que o microcontrolador é desligado.
- Memória Flash
 - Ao contrário da memória RAM, a memória Flash é um tipo de memória não volátil, que permite reter os dados por um período mais extenso de tempo, mesmo que a sua alimentação seja desligada. Permite guardar os programas que são enviados para o microcontrolador.

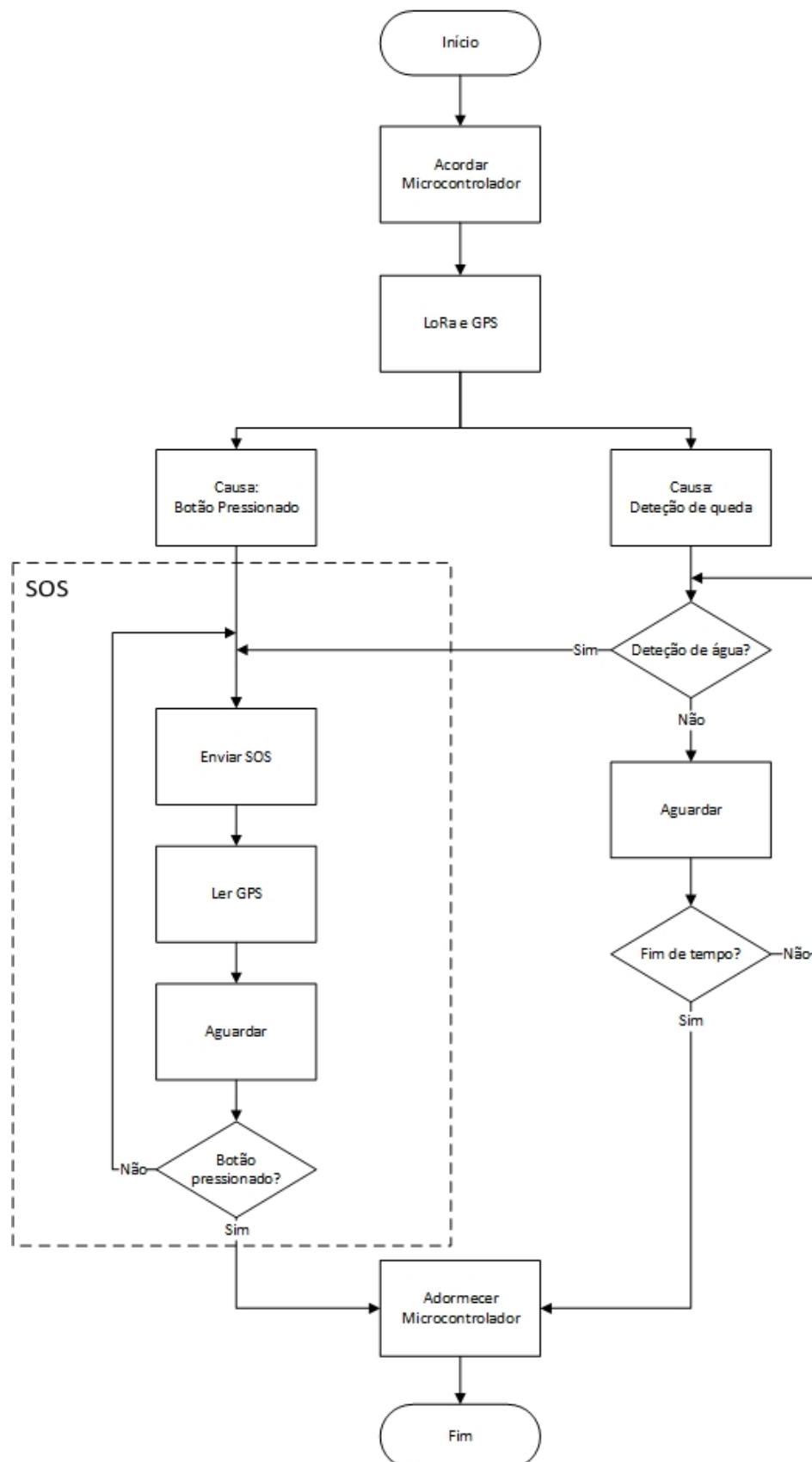


Figura 3.3: Algoritmo de detecção de Homem ao Mar

- Memória não volátil, EEPROM
 - A memória não volátil EEPROM, é semelhante à memória Flash. A principal diferença reside na capacidade da memória EEPROM reescrever qualquer tipo de byte em qualquer altura, enquanto a memória Flash reescreve apenas blocos de bytes, o que exige que, sempre que se queira reescrever um determinado byte, seja necessário reescrever todo o bloco onde esse mesmo byte se encontra.
- Comunicação Serial
 - A comunicação Serial permite enviar dados bit a bit, de forma sequencial. Este tipo de comunicação é utilizada nos microcontroladores, enviando os dados na forma de pulsos binários.
- Portas de entrada e saída
 - As portas de entrada e saída, I/O Ports, permite utilizar o microcontrolador em aplicações do mundo real. A informação recebida à entrada, por exemplo através de um determinado sensor, é processada pelo CPU, permitindo após isso obter um determinado resultado através da porta de saída.

Existindo a necessidade de através de um determinado valor de entrada, no caso do dispositivo individual de deteção de Homem ao Mar este valor de entrada é dado pelos 2 sensores existentes, executar um determinado procedimento e desencadear um determinado conjunto de ações, existiu a necessidade de utilizar um microcontrolador que permitisse que tudo isto acontecesse.

3.3.1 ESP32

O ESP32 é um microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems, empresa chinesa criada em 2008, com sede em Shangai e especializada no desenvolvimento de soluções WiFi, Bluetooth e de IoT de baixo consumo energético (Espressif Systems (Shanghai) CO, 2019a). Este microcontrolador tem como principais características o seu processador de dois núcleos, permitindo uma elevada capacidade de processamento, com tecnologia WiFi e Bluetooth, que possui enorme variedade de periféricos e interfaces disponíveis (*capacitive touch*, ADCs (*analog-to-digital converter*), DACs (*digital-to-analog converter*), I²C (*inter-integrated circuit*), UART (*universal asynchronous receiver/transmitter*), CAN 2.0 (*controller area network*), SPI (*serial peripheral interface*), I²S (*integrated inter-IC sound*), RMI (*reduced media-independent interface*), PWM (*pulse width modulation*)) e consumo de energia bastante baixo. Estas características levam à utilização deste microcontrolador em diferentes áreas, com especial destaque para as suas diferentes aplicações em projetos de IoT (Espressif Systems (Shanghai) CO, 2019b).

Das características anteriormente referidas do ESP32, destaca-se o baixo consumo de energia, que pode ser alcançado devido à possibilidade de utilização do microcontrolador em diferentes modos de funcionamento, facilmente configuráveis e que permitem reduzir substancialmente o consumo de energia.

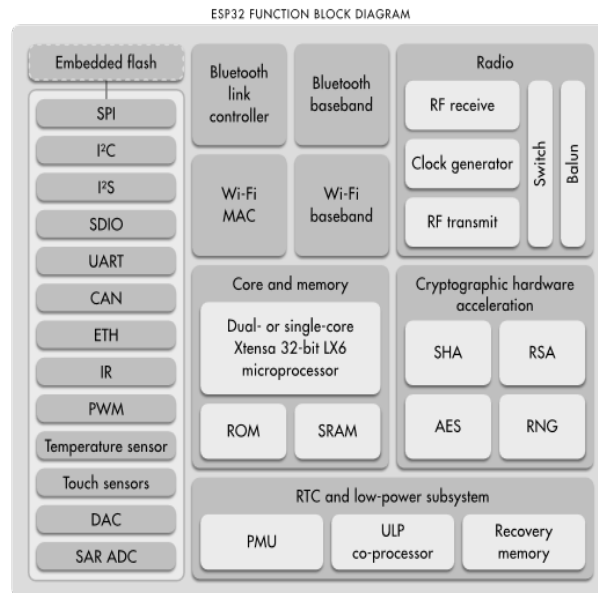


Figura 3.4: Módulos ESP32 (Espressif Systems (Shanghai) CO, 2019b)

3.3.2 Modos de funcionamento ESP32

De acordo com a necessidade de um determinado consumo de energia, existem 5 modos de funcionamento que podem ser facilmente configuráveis. Cada um destes modos possui características específicas e um consumo específico de energia associado (Last Minute Engineers, 2019).

- Modo Activo
 - Neste modo todos os módulos do ESP32 se encontram ativos. Estando os módulos de WiFi, Bluetooth e processador ligados existe um grande consumo de energia, compreendido entre os 160 e os 260 mA, podendo atingir picos de até 790 mA. Este é o modo de funcionamento que possui maior consumo de energia, devendo por isso ser evitado, sempre que o ESP32 não necessita de estar ligado.
- Modo Adormecido Moderado
 - Durante este modo de funcionamento, os módulos de WiFi, Bluetooth, radio e periféricos estão desativados. Neste modo de funcionamento existe um consumo de energia entre os 3 e os 20 mA. Para que as ligações WiFi e Bluetooth continuem, os módulos que estão normalmente desativados neste modo, são ativados de acordo com intervalos predefinidos



Figura 3.5: ESP32 Modo Activo (Last Minute Engineers, 2019)

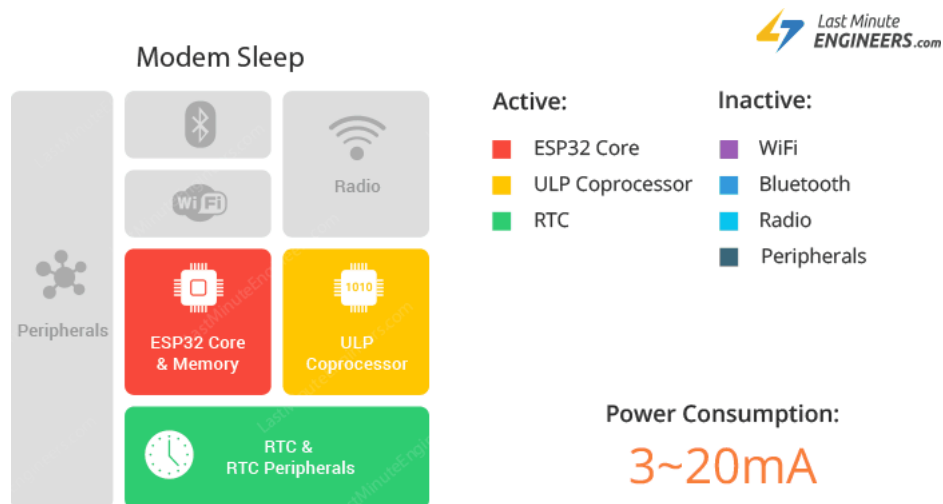


Figura 3.6: ESP32 Modo Adormecido (Last Minute Engineers, 2019)

- **Modo Adormecido Leve**

- Este modo de funcionamento assemelha-se bastante com o anterior, sendo que o micro-controlador também deve utilizar uma determinada rotina por forma a ativar os módulos adormecidos. A grande diferença está na utilização da RAM e CPU no modo *Clock Gating*, sendo que este modo permite reduzir o consumo dinâmico de energia. Neste modo o CPU é colocado em pausa, enquanto que o RTC e o coprocessador ULP são mantidos em ativo. Ao colocar o CPU em pausa, consegue-se obter assim um consumo de energia que ronda os 0,8 mA.

- **Modo Adormecido Profundo**

- Apenas o módulo RTC e o módulo do coprocessador ULP se encontram ligados. O

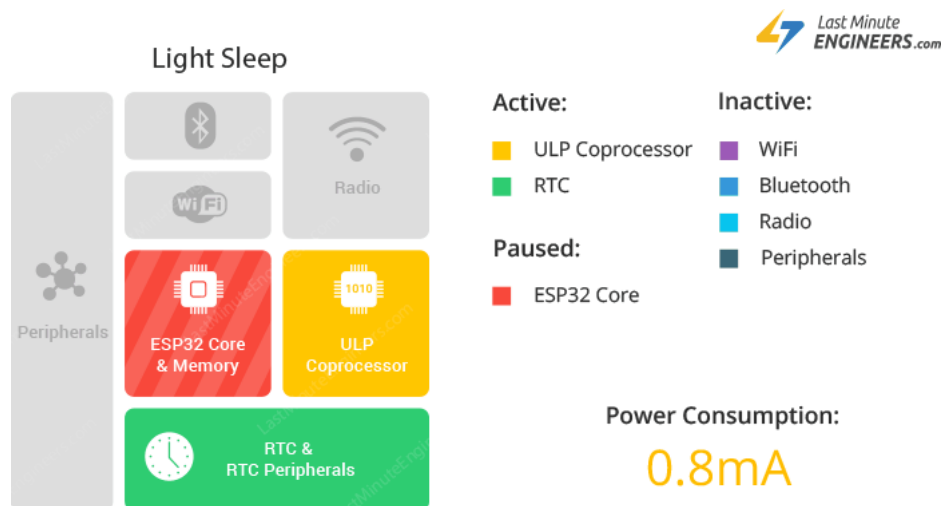


Figura 3.7: ESP32 Modo Adormecido Leve (Last Minute Engineers, 2019)

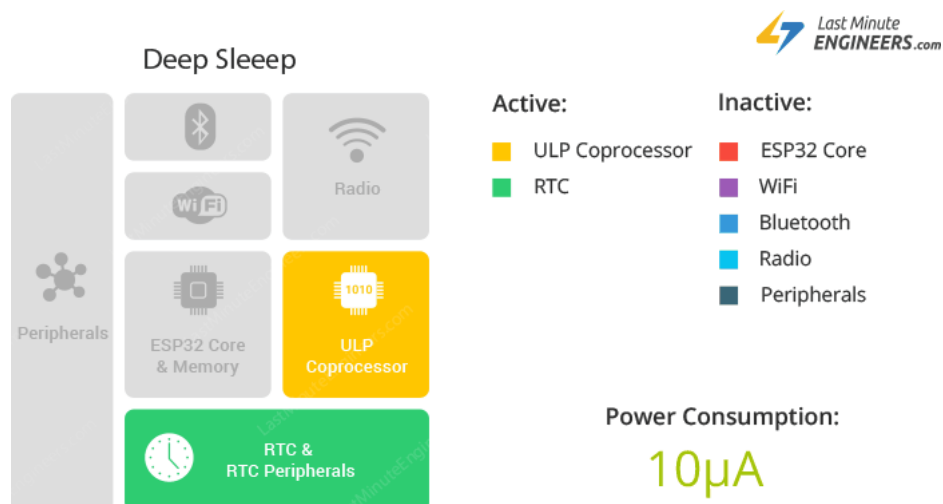


Figura 3.8: ESP32 Modo Adormecido Profundo (Last Minute Engineers, 2019)

CPU, grande parte da memória e todos os periféricos estão desligados. Neste modo de funcionamento existe um consumo de 0,15 mA, considerando que o coprocessador ULP se encontra ligado, sendo o consumo de 10 μA quando este se encontra desligado. Durante este modo de funcionamento, o CPU encontra-se desligado enquanto o coprocessador ULP é responsável pela medição dos valores dos sensores e por acordar o sistema principal. Não existe possibilidade de aceder à memória do microcontrolador, no entanto existe a possibilidade de manter a memória RTC. Estando a maioria dos módulos desligados, caso exista a necessidade de guardar alguma tipo de dados, o mesmo deve ser guardado na memória RTC, uma vez que essa é a única memória disponível e que garante que a informação não se perde.

- Modo Hibernação

- Neste modo, o coprocessador é desligado, bem como a memória RTC. Não existe assim possibilidade de guardar qualquer tipo de memória durante este modo de funcionamento. Apenas se encontram disponíveis algumas rotinas do módulo RTC. Este é o modo de funcionamento que permite um menor consumo de energia, apenas $2.5 \mu\text{A}$.

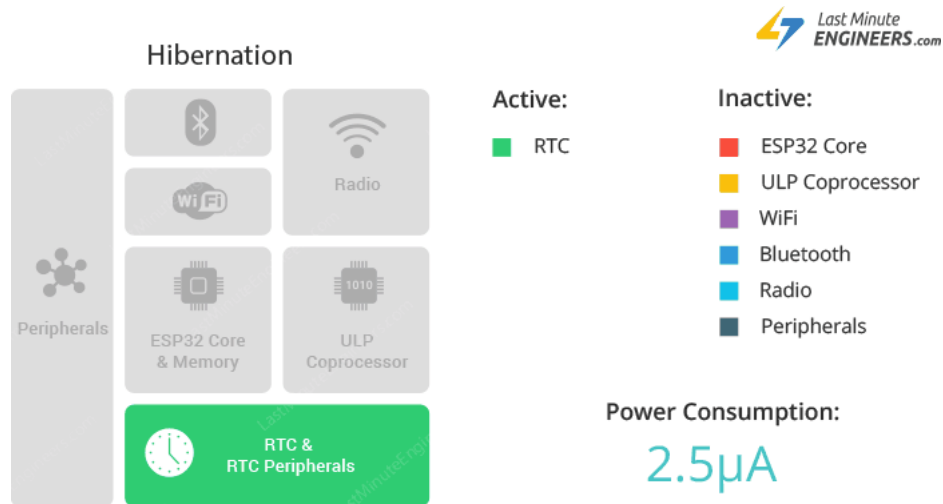


Figura 3.9: ESP32 Modo Hibernação (Last Minute Engineers, 2019)

3.4 GPS

O sistema de posicionamento global, *Global Positioning System*, GPS, começou a ser desenvolvido no ano de 1973 por um grupo de trabalho constituído maioritariamente por elementos das forças armadas norte-americanas, tendo o primeiro satélite GPS sido lançado em 1978. O sistema GPS tem como princípio de funcionamento a medição de distâncias a partir da determinação do intervalo de tempo que ocorre entre a transmissão de um sinal por um satélite e a sua receção num dispositivo GPS. A determinação deste intervalo de tempo necessita de relógios perfeitamente sincronizados. O cálculo da distância entre o dispositivo e o satélite é feito através da multiplicação da velocidade da luz pelo intervalo de tempo registado, sendo que são necessários 4 satélites GPS para obter uma posição exata através deste sistema. A utilização de 4 satélites está relacionada com o desvio existente entre a hora registada pelo relógio interno do dispositivo recetor e a hora registada pelo relógio satélite. Atualmente, existem cerca de 32 satélites GPS, sendo que, desses 32 satélites, 9 deles estão sempre visíveis, o que permite a existência de redundância no sistema.

Para além deste sistema de posicionamento desenvolvido pelos norte-americanos existe também outros sistemas com o mesmo princípio de funcionamento, como é o caso do GLONASS, sistema desenvolvido na Rússia, sendo que o sistema GPS utiliza ondas rádio transmitidas à frequên-

cia de 1575,42 MHz ou à frequência de 1227,60 MHz e o sistema GLONASS utiliza ondas rádio à frequência de 1600 MHz (Monteiro, 2012).

Pela sua elevada precisão e baixo custo, este tipo de sistema de posicionamento encontra-se integrado em diferentes dispositivos, nomeadamente dispositivos em massa, como é o caso dos telemóveis e automóveis, sendo a tecnologia a utilizar sempre que existe necessidade de identificação de posições. O desenvolvimento de diferentes aplicações IoT que necessitam de GPS leva à existência de diferentes módulos GPS a preços bastante interessantes e que permitem excelentes resultados. O GPS será assim utilizado por forma a identificar a posição do elemento que sofreu a queda ao mar.

3.5 Comunicação entre o dispositivo individual e a estação base

A comunicação entre o dispositivo individual e a estação base é um ponto fundamental no desenvolvimento do sistema de deteção de Homem ao Mar. Embora, como sugerido no diagrama conceptual, sejam os sensores que permitam a deteção de queda, é a existência de comunicações que permite que o alarme de situação de Homem ao Mar exista no navio.

Por forma a garantir a existência de comunicações entre o dispositivo individual e a estação base, respeitando as características pretendidas para o sistema de deteção, procurou-se entender que tipo de tecnologia melhor se adequava ao sistema. Não sendo necessário o envio de pacotes de dados com demasiada informação, uma vez que apenas se pretende transmitir o alarme e a localização do elemento para a estação base, considerou-se a utilização de tecnologia Wireless, tendo em conta as suas principais características. A tecnologia Wireless foi desenvolvida por forma a permitir o envio a longas distâncias de pacotes de dados de reduzidas dimensões, estando também associada a aplicações de baixo custo. Dentro das diferentes soluções de tecnologia Wireless, optou-se pela utilização de tecnologia LoRa (*Long Range*).

3.5.1 LoRa

LoRa é um diminutivo de *Long Range* e consiste num tipo de modulação wireless que permite comunicações de grandes distâncias utilizando baixa largura de banda. Baseia-se em modulação CSS (*chirp spread spectrum*), semelhante à modulação FSK (*frequency shifting keying*), garantindo um consumo bastante baixo de energia, e com a particularidade de permitir um aumento da distância de comunicação quando comparado com a modulação FSK. A aliança LoRa é a primeira a utilizar modulação CSS para fins comerciais, permitindo a sua utilização em diferentes projetos de baixo orçamento, sendo bastante aplicada em projetos de IoT onde existe, por exemplo, necessidade

de controlo de sensores à distância (Semtech, 2019). A modulação utilizada pela tecnologia LoRa é desenvolvida e colocada em transdutores pela SemTech, e permite a sua utilização em diferentes áreas. Enquanto está a transmitir este tipo de tecnologia necessita de uma corrente de pico de 32 mA e de apenas 1 uA quando não se encontra ativo (Lora Alliance, 2019). Resumidamente, as principais características da tecnologia LoRa são:

- Permitir comunicações de grande distância de pequenos pacotes de dados;
- Baixo consumo de energia;
- Segurança e poucas interferências durante a comunicação.

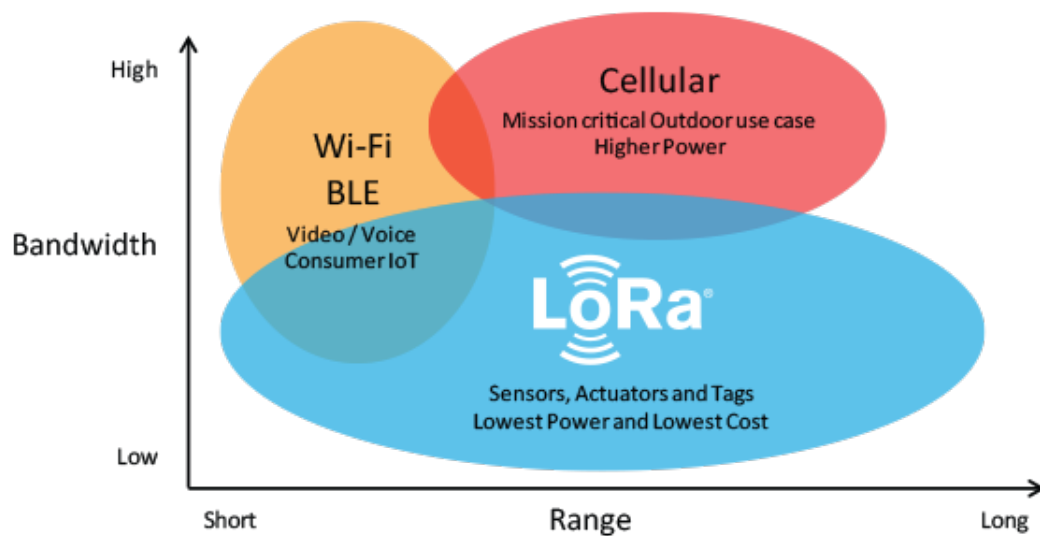


Figura 3.10: Tecnologia LoRa (Semtech, 2019)

3.6 Sensores para deteção de situação de Homem ao Mar

A deteção de situação de Homem ao Mar será efetuada através de um sensor de queda e de um sensor de contacto com a água. Ao utilizar dois sensores pretende-se diminuir a ocorrência de falsos positivos. Desta forma, em caso de ocorrência de uma queda, é necessário existir também o contacto com a água para que se considere realmente uma situação de Homem ao Mar.

3.6.1 Deteção de queda

A deteção automática de queda é possível através da utilização de um acelerómetro e/ou de um giroscópio. O primeiro sistema de deteção automático de queda foi desenvolvido em 1998, possuía um sensor piezoelétrico que detetava o impacto resultante da queda e um interruptor de

mercúrio, responsável pela identificação da posição do corpo. Após o desenvolvimento do primeiro detetor surgiram outras alternativas a este. Bourke et al. desenvolveram um algoritmo de detecção de queda para ser utilizado num acelerómetro triaxial que permitia obter uma sensibilidade de mais de 90% e uma especificidade de mais de 99%, permitindo distinguir a ocorrência de uma queda, de simples atividades do dia-a-dia, como por exemplo: correr, sentar-se numa cadeira, alguém estar deitado na cama e levantar-se, subir ou descer escadas. Kangas et al avaliaram a utilização de diferentes algoritmos de queda, através da utilização de acelerómetros em diferentes zonas do corpo, nomeadamente cabeça, cintura e pulso e verificaram que utilizar um acelerómetro na cabeça ou cintura permitia um alto valor de sensibilidade e de especificidade (o valor de sensibilidade e de especificidade são valores que permitem relacionar respetivamente verdadeiros positivos com falsos negativos e verdadeiras negativos com falsos positivos) (Chen, Feng, Zhang, Li e Wang, 2011).

Definindo como referencial o impacto resultante da queda, pode-se dividir os sistemas de detecção de queda da seguinte forma (Chen et al., 2011):

- Sistemas que detetam a queda antes do impacto com base nos perfis de velocidade.
- Sistemas que detetam diretamente a queda através do valor de aceleração, com base na mudança repentina do valor de aceleração ou caso a aceleração aumente rapidamente.
- Sistemas que detetam a queda com base no reconhecimento da postura corporal após o impacto.

A maioria dos acelerómetros são microeletromecânicos, isto é, acelerómetros MEMS. Estes acelerómetros MEMS podem ser de capacitância variável ou piezoresistivos. Os acelerómetros MEMS de capacitância variável tem como características a sua elevada sensibilidade e o pequeno intervalo de medidas, por outro lado os acelerómetros MEMS piezoresistivos apresentam maior intervalo de medida, mas baixa sensibilidade. Os acelerómetros MEMS têm ainda a particularidade de terem um preço bastante reduzido (PCB Piezotronics, 2019).

Por forma a identificar a queda ao mar utilizar-se-á um acelerómetro e o seu algoritmo de detecção de queda. Através do movimento de queda livre e das características desse mesmo movimento, espera-se que seja possível identificar a queda de um elemento. A distância a percorrer entre o pavimento onde o elemento se encontra e a superfície do mar é, na maior parte dos navios, uma distância superior a 1,5 m, pelo que durante um determinado intervalo de tempo o elemento possuirá aceleração nula. Pretende-se assim utilizar um acelerómetro MEMS para a detecção de queda.

A escolha de um sensor de aceleração relaciona-se com a ideia de que durante a queda de um corpo, regista-se durante um determinado momento um valor de aceleração nulo, isto é aceleração igual à aceleração da gravidade, o que tipicamente designado como movimento em queda livre.

Ora, conseguindo identificar que o elemento possui um movimento semelhante ao movimento de queda livre, podemos suspeitar que esse elemento tenha caído ao mar.

3.6.2 Detecção de contacto com a água

A utilização de um sensor de humidade irá permitir que apenas exista o alarme de situação de Homem ao Mar após ser detetado uma queda pelo acelerómetro e após a deteção de presença de água. Os sensores de deteção de água utilizados em IoT são compostos na sua generalidade por duas placas, sendo possível através destes sensores não só detetar, como quantificar a presença de água. Desta forma, é possível definir um valor de referência para a quantidade de água necessária para a existência de um alerta de situação de Homem ao Mar.

3.7 Botão adicional

Devido à possibilidade de existência de falsos positivos, e por forma a colocar o dispositivo no seu estado inicial caso estes ocorram, o dispositivo de deteção individual de deteção deverá possuir um botão adicional. Este botão irá permitir ainda acordar o microcontrolador em caso de situação de Homem ao Mar, que não tenha sido detetada através da queda do elemento.

A identificação de ativação do sistema devido a uma suposta queda é feita através de um LED, que deverá ligar em caso de queda.

Capítulo 4

Desenvolvimento de protótipo

4.1 Material adquirido

4.1.1 Wemos TTGO T-Beam

Existem diferentes placas de desenvolvimento que utilizam como microcontrolador o ESP32, sendo desenvolvidas por diferentes marcas e que, embora tenham em comum o seu microcontrolador, possuem diferentes características entre si. Desta forma, recorreu-se à utilização de dois tipos diferentes de placas de desenvolvimento, utilizando ambas o ESP32 como microcontrolador. Para o sistema individual de deteção procurou-se uma placa que disponibilizasse ESP32, GPS e LoRa, tendo a escolha sido a placa Wemos TTGO T-Beam, que para além de disponibilizar GPS e LoRa, possui a particularidade de permitir a fácil instalação de uma bateria para a sua alimentação. Esta placa possui as principais características: microcontrolador ESP32 com WI-Fi e Bluetooth, módulo LoRa 32 (frequência de 433 MHz) com antena, módulo U-Blox NEO-M8N com antena de cerâmica, 26 pinos que permitem comunicar através de diferentes protocolos e fornecer energia de alimentação, suporte integrado para bateria do tipo 18650, programável em ambiente Arduino, dimensões: 100 x 33 mm, e um custo de 24 Euros (Banggood, 2019b).

4.1.2 Wemos SX 1278 LoRa ESP32

A placa de desenvolvimento utilizada para a estação base foi a Wemos SX1278 LoRa ESP32, que como o nome indica permite ter ESP32 e LoRa na mesma placa. Tendo em conta o modo de funcionamento do protótipo de sistema de deteção, basta que a estação base seja capaz de receber o sinal LoRa e que permita a identificação de uma situação de Homem ao Mar, adequando-se assim esta placa ao pretendido. A placa Wemos SX 1278 LoRa ESP32 possui as seguintes características: microcontrolador Lexin ESP32, com um processador de dois núcleos Tensilica

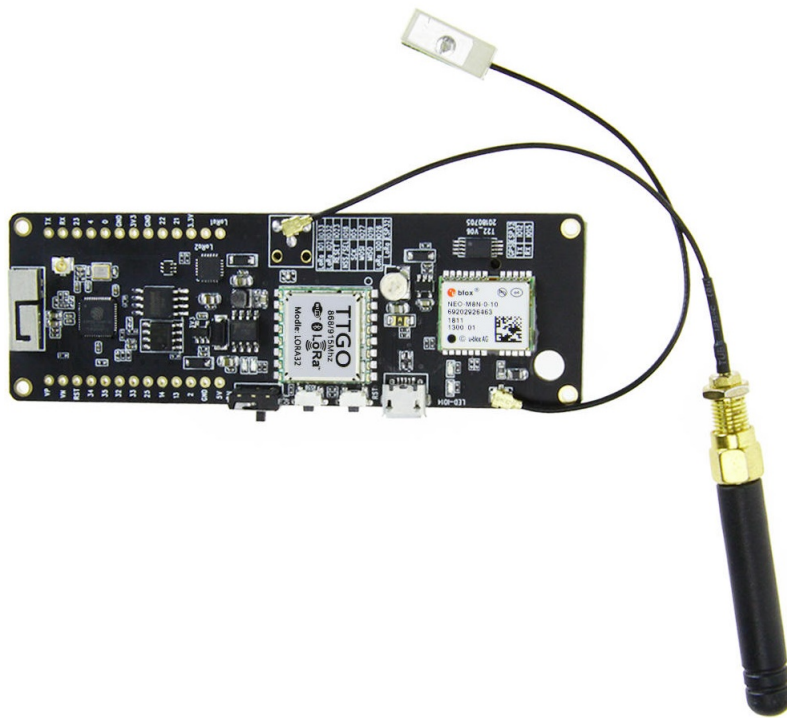


Figura 4.1: Wemos TTGO T-Beam (Banggood, 2019b)

LX6 e capacidade Wi-Fi e Bluetooth, módulo LoRa SX1278 (frequência de 433 MHz) com antena incluída, programável em ambiente Arduino, dimensões: 53 x 29 mm, e pode ser adquirida por cerca de 12 Euros (Banggood, 2019d).

4.1.3 Sensor de humidade FC-37

O sensor utilizado para identificar o contacto com água foi o sensor de humidade FC-37. Este sensor, que custa cerca de 2 Euros (Banggood, 2019c) , utiliza, para além do transdutor, uma placa para condicionamento de sinal, sendo bastante utilizado em aplicações relacionadas com a deteção e medição de precipitação. A placa de condicionamento de sinal possui uma saída digital e uma saída analógica, sendo que a saída analógica permite identificar o nível de humidade presente na placa de deteção, permitindo assim definir qual a quantidade de água necessária para um determinado evento ocorrer. Necessita de ser alimentado por uma fonte de 5 V, o que permite a utilização do pinos de alimentação de 5 V disponível na placa Wemos TTGO T-BEAM, possui um pequeno LED indicador de estado, estando ligado quando não existe contacto com a água e a saída digital se encontra no estado HIGH, existindo contacto com a água a saída digital passa ao estado LOW e o LED desliga. A placa de deteção, de 50 x 40 mm, utiliza tecnologia FR-04, possuindo um tratamento de níquel contra a oxidação e condutividade, permitindo assim a sua utilização durante um longo período de tempo. A placa de condicionamento de sinal utiliza um

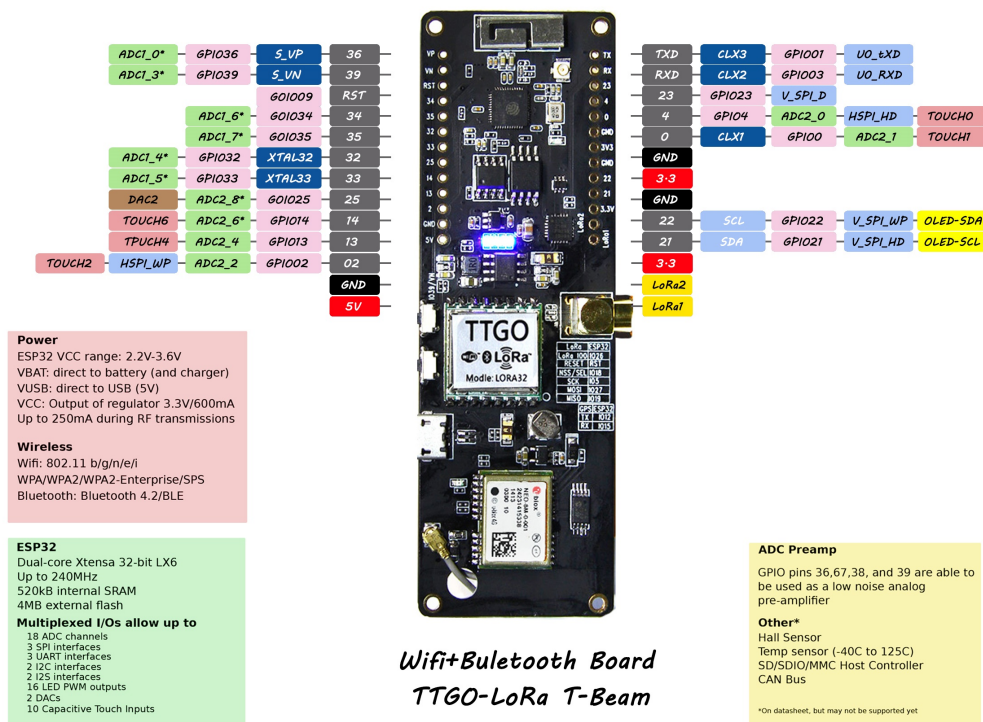


Figura 4.2: Características Wemos TTGO T-Beam (Banggood, 2019b)

potenciômetro que permite o ajuste do nível a partir do qual a saída digital passa para o estado HIGH (Vaisala, 2015).

4.1.4 Acelerômetro e giroscópio MPU6050

O MPU6050 é, como o nome indica, uma unidade de processamento de movimento, MPU (*Motion Processing Unit*), alimentada entre 3 a 5 V, que utiliza o protocolo de comunicação I2C, possuindo um acelerômetro MEMS de 3 eixos, um giroscópio MEMS de 3 eixos e um processador de movimento digital, DMP (*Digital Monitor Processor*). Pode ainda ser ligado a um magnetômetro de 3 eixos através de uma porta I2C auxiliar, transformando-se num sensor com capacidade de leitura de 9 eixos (InvenSense, 2013). Custando apenas 2,5 Euros (Banggood, 2019a), o MPU6050 oferece uma grande capacidade de suporte para diferentes aplicações baseadas em movimento, necessitando de uma capacidade reduzida de processamento, sendo bastante utilizado em aplicações de IoT.

O acelerômetro MEMS que se encontra nesta unidade tem diferentes características interessantes. Uma dessas características é a possibilidade de gerar interrupções, provocadas por determinados valores de aceleração, o que no contexto deste trabalho se reveste de uma grande utilidade uma vez que permite gerar interrupções causadas por situações de queda livre, o que por

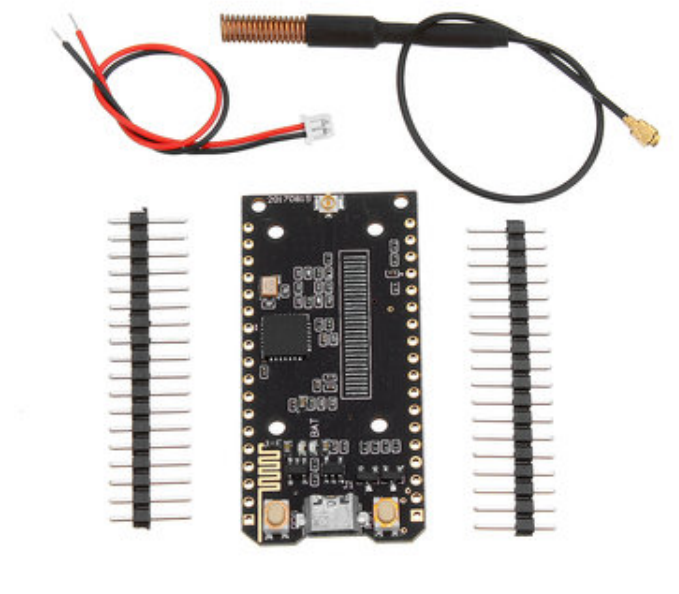


Figura 4.3: Wemos SX1278 LoRa ESP32 (Banggood, 2019d)

sua vez poderá permitir detetar rapidamente uma possível queda ao mar.

4.1.5 Bateria 18650 Ultrafire 3,7 V 4200 mAh

A placa Wemos TTGO T-Beam possui um suporte para uma bateria 18650, o que facilitou a escolha de bateria a utilizar no dispositivo individual de deteção. Assim, foram adquiridas duas baterias 18650 de íões de Lítio da Ultrafire. Estas baterias possuem uma tensão de 3,7 V, uma capacidade de 4200 mAh e um custo de aproximadamente 3 Euros (Ebay, 2019).

4.1.6 Botão adicional

O botão adicional foi adquirido após ter sido desenvolvida a caixa de proteção, tendo sido necessário encontrar um botão que fosse ao encontro das características da caixa, por forma a ser facilmente implementado. Foi possível encontrar um botão que incluía também um LED, o que permite identificar visualmente o estado do dispositivo de deteção individual. O botão teve um custo de 4 Euros e foi alterado por forma a se adequar ao projecto em questão: substituição do LED de 12 V inicialmente existente no botão por um LED de 2,6 V de alto brilho e remoção da mola do botão, permitindo que este voltasse à sua posição inicial após pressionado.

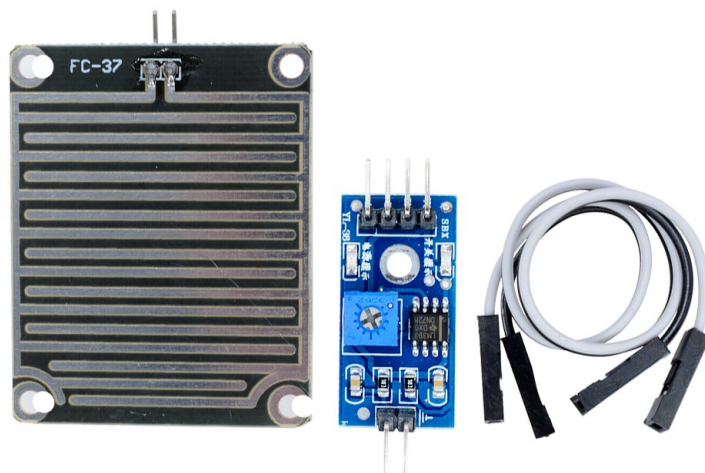


Figura 4.5: Sensor de detecção de água FC-37 (Banggood, 2019c)

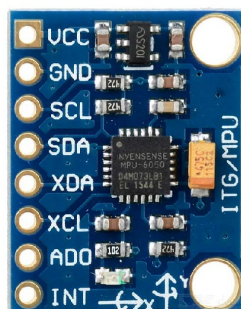


Figura 4.6: MPU6050 (Banggood, 2019a)

saídas de 3,3 V da placa. O pinos SCL e SDA do MPU6050 encontram-se ligados aos pinos 22 e 21 da placa Wemos TTGO T-Beam. A comunicação entre o acelerômetro e a placa acontece através do protocolo I²C, utilizando estas duas ligações para tal. O pino INT do MPU6050 encontra-se ligado ao pino 25 da placa, correspondente ao GPIO25 do ESP32. A existência desta ligação permite que sejam detetadas interrupções com base em valores característicos de aceleração, sendo utilizado neste caso para detetar uma interrupção causada por uma queda. O botão de emergência possui 4 ligações, 2 para o LED de alto brilho e 2 para o botão propriamente dito. O LED encontra-se ligado a uma resistência de 39 Ω e ao pino 4 da placa, GPIO4 do ESP32, sendo alimentado através desse mesmo pino. A resistência garante que o valor de corrente se mantenha próximo dos 20 mA quando ligado. O botão é alimentado por um dos pinos de 3,3 V e está ainda ligado a uma resistência de 10 k Ω e ao pino 2 da placa, servindo esta resistência como resistência Pull-up, evitando as flutuações de valor do pino quando não se encontra a ser utilizado. Na figura 4.9 estão representadas as ligações referidas anteriormente. O esquema de ligações em questão foi efetuado



Figura 4.7: Bateria 18650 Ultrafire 3,7 V 4200 mAh (Ebay, 2019)

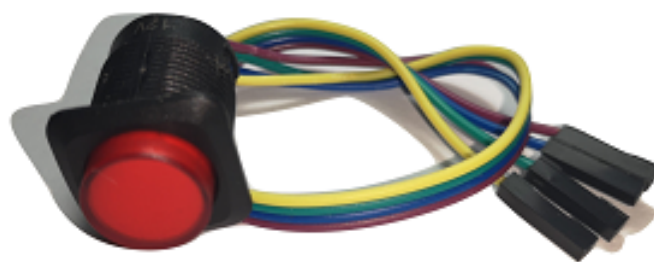


Figura 4.8: Botão adicional com LED

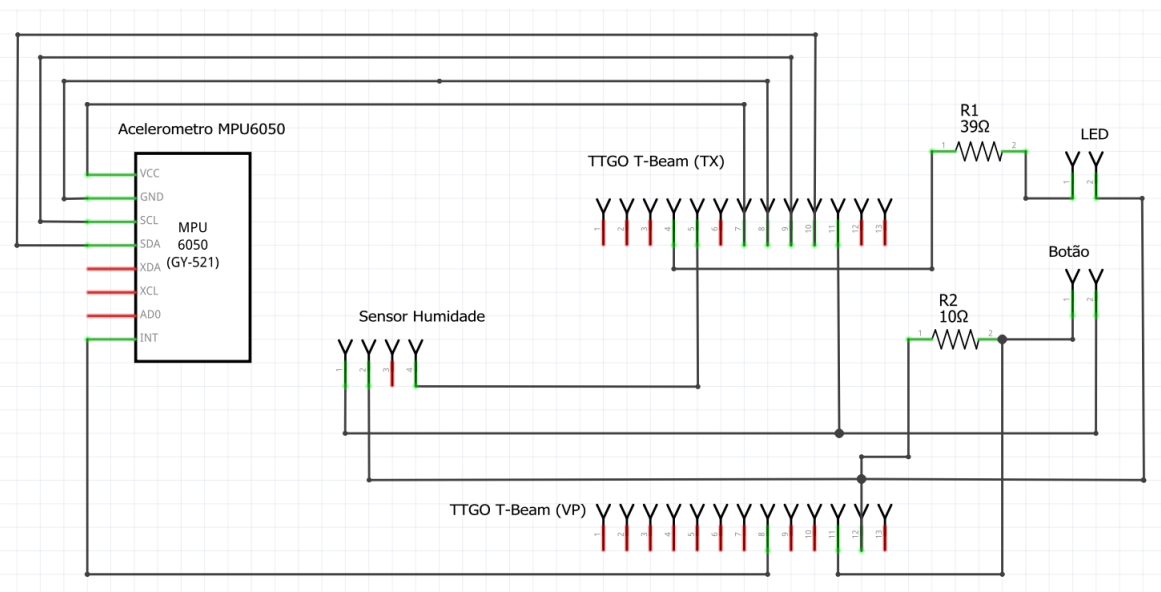


Figura 4.9: Esquema de ligações

através do programa Fritzing, programa que permite a criação de pequenos circuitos elétricos para posterior impressão em placas de circuito impresso.

De referir ainda que não foi necessário realizar qualquer tipo de ligação ao módulo gps U-Blox NEO-M8N, módulo LoRa ou à bateria, uma vez que todas essas ligações já se encontravam na placa Wemos TTGO T-Beam.

4.2.2 Placa de circuito impresso

Após se ter verificado o correto funcionamento de todos os componentes do dispositivo individual de detecção através da utilização de uma breadboard, desenvolveu-se uma placa de circuito impresso por forma a simplificar as ligações entre os diferentes componentes do dispositivo individual de detecção e permitir a sua colocação na caixa de proteção desenvolvida em SolidWorks.

Foi então possível, a partir do esquema de ligações desenvolvido no programa Fritzing, criar uma placa de circuito impresso, figura 4.10, que pudesse ser impressa e colocada na caixa de proteção do dispositivo individual de detecção. O desenvolvimento da placa de circuito impresso permitiu que todos os componentes fossem ligados facilmente, e ocupando ainda pouco espaço, o que contribuiu de forma positiva para a minimização das dimensões do protótipo.

Na figura 4.11, é possível observar a placa de circuito impresso já finalizada, com os seus diferentes componentes, e pronta a ser ligada à placa Wemos TTGO T-Beam.

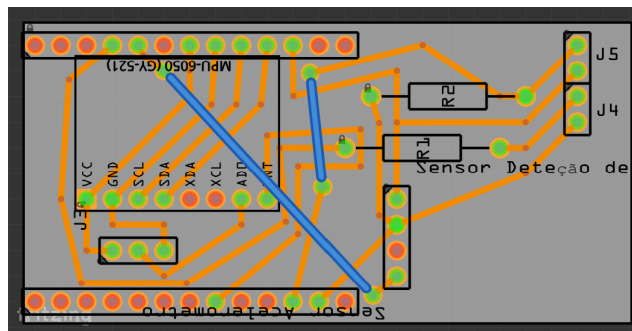


Figura 4.10: Placa de circuito impresso Fritzing

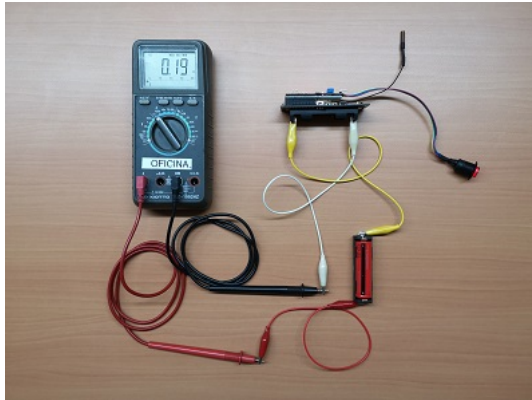


Figura 4.11: Placa de circuito impresso

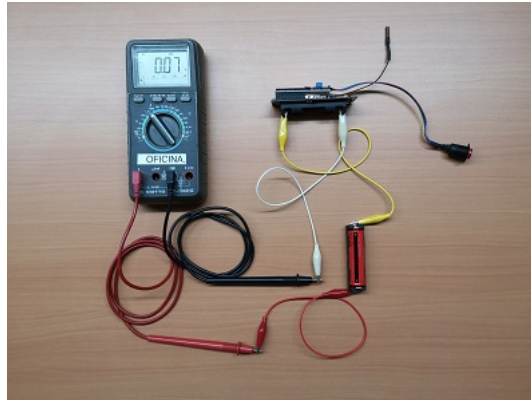
4.2.3 Consumo de energia

Concluídas as ligações necessárias entre os componentes, foi possível verificar qual seria o consumo de corrente do dispositivo individual de detecção. Com o microcontrolador no modo adormecido profundo, registou-se um consumo de corrente de 70 mA. No seu modo normal de funcionamento, o valor observado foi de 190 mA. Repare-se que o consumo de corrente acaba por ser mais elevado do que o esperado quando o microcontrolador se encontra em modo adormecido, de acordo com a informação do fabricante deveria rondar os $10 \mu\text{A}$. Este valor de corrente resulta da necessidade de alimentação dos restantes componentes do dispositivo, para além do microcontrolador da placa Wemos TTGO T-Beam.

Considerando a alimentação do dispositivo individual de detecção com a bateria 18650 Ultrafire de 3,7 V e 4200 mAh, e tendo em conta os valores de corrente observados, é possível uma autonomia de 60 h, caso consideremos a utilização continua do dispositivo em modo adormecido profundo, e uma autonomia de aproximadamente 22 h, caso se considere uma utilização continua em modo normal de funcionamento, entenda-se em caso de situação de Homem ao Mar. Por outro lado, considerando uma utilização do dispositivo em que 90% do tempo se encontra em modo adormecido profundo e durante o restante tempo se encontra em modo normal de funcionamento, caso seja detetado uma situação de Homem ao Mar, é possível uma autonomia de aproximadamente 56 h.



(a) Modo Normal



(b) Modo Adormecido Profundo

Figura 4.12: Consumo de energia Wemos TTGO T-Beam

Na tentativa de melhor entender o excesso de consumo de energia observado, testou-se com uma configuração bastante semelhante, a placa Wemos SX 1278 LoRa ESP32. O programa de teste à semelhança do programa utilizado para o teste de consumo de corrente do dispositivo de detecção individual, utilizando a placa Wemos TTGO T-Beam, permitiu medir o consumo de corrente durante o modo de funcionamento adormecido profundo e o consumo de corrente durante o modo normal de funcionamento, onde transmitia uma mensagem, desta vez sem ter adquirido qualquer tipo de informação GPS, uma vez que esta placa não está pré-configurada para a utilização de um módulo de GPS, contrariamente aquilo que acontece com a placa Wemos TTGO T-Beam. O valor observado no modo adormecido profundo foi de aproximadamente 11 mA, cerca de 7 vezes inferior ao valor observado no teste realizado com a placa Wemos TTGO T-Beam. Já o valor em modo normal de funcionamento foi de 180 mA, semelhante ao valor com a placa Wemos TTGO T-Beam, embora ligeiramente inferior.

Os valores observados foram medidos através da utilização do amperímetro do multímetro disponível. Repare-se que não sendo este o método mais indicado para a medição de correntes demasiado pequenas, e existindo sempre algum erro associado a estas medições, os valores observados são desadequados às necessidades energéticas do sistema de detecção de Homem ao Mar que se pretende desenvolver. Ainda assim, e considerando as diferentes opções de modo de funcionamento dos diferentes componentes com consumos de energia reduzidos, acredita-se que seja possível o desenvolvimento de uma versão final com gastos energéticos próximos do pretendido para o sistema.



(a) Modo Normal



(b) Modo Adormecido Profundo

Figura 4.13: Consumo de energia Wemos SX1278 LoRa ESP32

4.2.4 Caixa de proteção

Desenho em SolidWorks

Por forma a proteger os componentes existentes no dispositivo individual de deteção do contacto e impacto direto com a água, desenhou-se em SolidWorks, a caixa de proteção da figura 4.14. A caixa permite que apenas a placa de deteção de água e antena de comunicação estejam em contacto direto com o exterior da caixa, evitando assim o contacto de água com os restantes componentes do dispositivo. A caixa foi desenhada por forma a garantir o mínimo de pontos de ligação entre o interior e o exterior, existindo apenas três pontos de ligação, nomeadamente: a ligação entre a placa de deteção de água e o dispositivo, a ligação entre o cabo da antena e a placa de desenvolvimento, e a tampa da caixa, figura 4.15a, que representa ainda a única forma de colocar a placa de desenvolvimento no interior da caixa de proteção, figura 4.15c. Desenhou-se também um modelo da placa de desenvolvimento Wemos TTGO T-Beam, com o objetivo de facilitar a verificação de tolerâncias, figura 4.15d, tornando mais simples o dimensionamento da caixa de proteção. A caixa de proteção tem de dimensões exteriores 50 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento, que correspondem às dimensões necessárias para colocar a placa Wemos TTGO T-Beam e a placa de circuito impresso, devidamente posicionadas, dentro da mesma.

Numa fase posterior de desenvolvimento da caixa de proteção, e após terminado o desenho da tampa para a caixa de proteção, criou-se uma nova tampa, figura 4.15b, com base na tampa original, por forma a permitir colocar o botão da figura 4.8 numa zona facilmente alcançável pelo utilizador e que não implicasse remover a tampa sempre que fosse necessário a sua utilização.

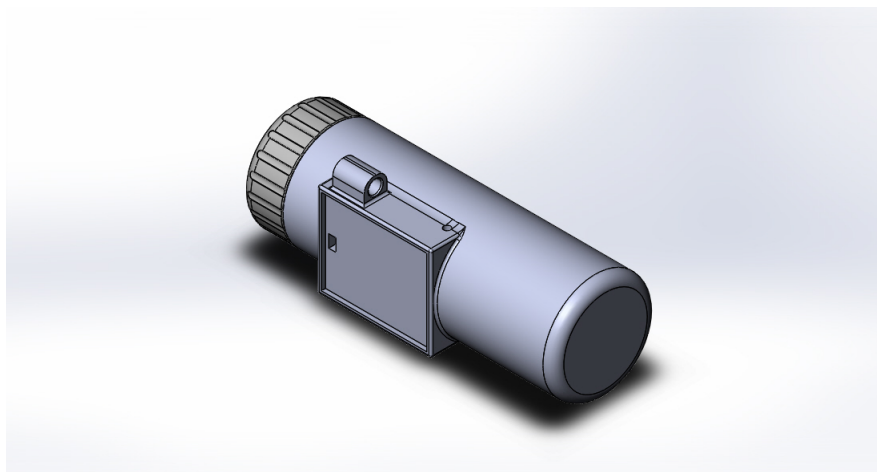


Figura 4.14: Caixa de proteção em SolidWorks

Impressão 3D

Após se ter desenvolvido a caixa de proteção do dispositivo individual de deteção em SolidWorks, a mesma foi impressa em 3D, utilizando para tal a impressora existente na Escola Naval (Dremel 3D45). Por forma a definir as características da impressão recorreu-se ao software Ultimaker Cura, figura 4.16.

A caixa de proteção utilizada para os testes de validação foi impressa em políácido láctico, conhecido por PLA. O PLA é um dos materiais mais utilizados em impressões 3D, tendo como principais características ser biodegradável e de fácil utilização. A caixa foi impressa com uma qualidade de 0,2mm e com um preenchimento de 20%, tendo sido utilizadas as temperaturas de referência para o material em questão.

Teste de estanquidade

O primeiro teste realizado após impressão da caixa de proteção foi o teste de estanquidade. Para este teste utilizou-se a caixa de proteção com o botão posicionado na tampa da mesma, tendo o botão sido colocado na tampa com um invólucro exterior e isolado com cola quente. A ligação com a antena LoRa e a ligação com a placa exterior de deteção de água foram também isoladas com cola quente. A zona de aperto entre a tampa e a caixa de proteção possui uma junta tórica de vedação, garantindo a estanquidade nesta zona.

O teste efetuado consistiu em deixar a caixa de proteção em contacto com água durante 12 horas. Foi possível através da realização do teste observar os seguintes problemas: o preenchimento de 20% utilizado na impressão da caixa, revelou-se insuficiente para evitar a infiltração de água para o interior desta. Após alguma pesquisa, foi possível perceber que os diferentes tipos de filamento existentes para impressão 3D ainda apresentam bastante limitações em termos de contacto com



Figura 4.15: Componentes da caixa de proteção em SolidWorks

água. Mesmo utilizando um preenchimento superior, a água acaba por se infiltrar facilmente entre as camadas dos diferentes materiais. Por forma a evitar que a água entrasse em contacto directo com o PLA, infiltrando-se através do mesmo, foi utilizado epoxi para criar um revestimento adicional na caixa e tampa de proteção. Foram aplicadas duas camadas de Araldite, uma mistura de dois componentes de epoxi, na caixa de proteção e na tampa que não utiliza botão, criando assim uma superfície impermeável. Optou-se pela não utilização da tampa que permite acesso directo ao botão, uma vez que a solução encontrada para a utilização do conjunto tampa e botão não oferecia segurança suficiente quanto há não existência de água dentro da caixa de proteção.

Após serem rectificadas os problemas identificados com o primeiro teste de estanquidade, realizou-se um novo teste, desta vez com a caixa de proteção e tampa sem botão, ambas com o revestimento de epoxi. Não foi detetada a presença de água no interior da caixa de proteção, após a realização do novo teste, o que permitiu avançar para a realização dos restantes testes relacionados com o desenvolvimento do sistema de deteção de Homem ao Mar.

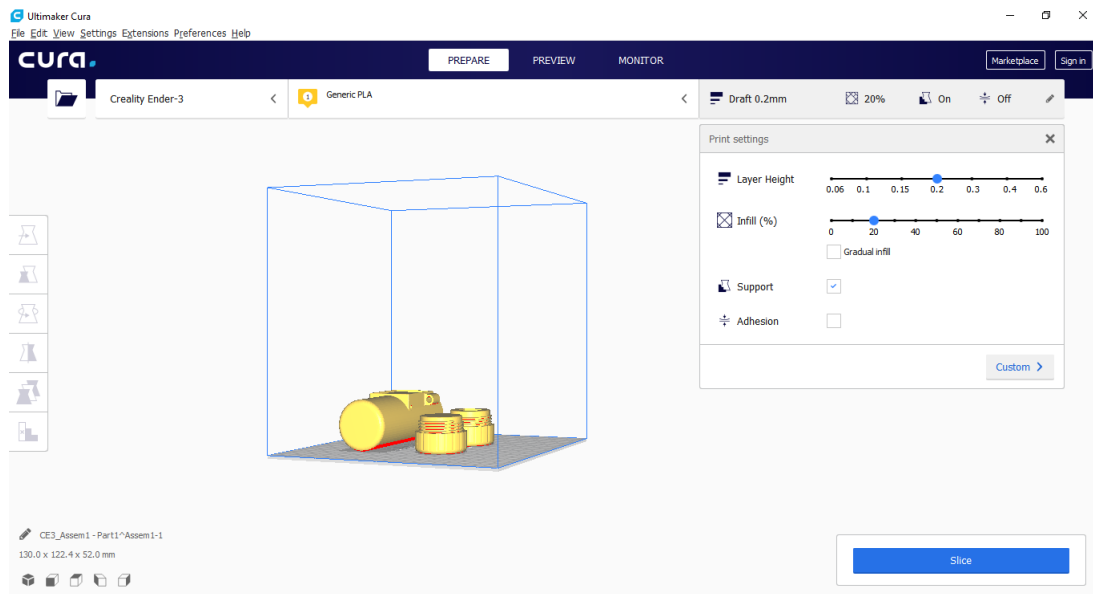


Figura 4.16: Software Ultimaker Cura

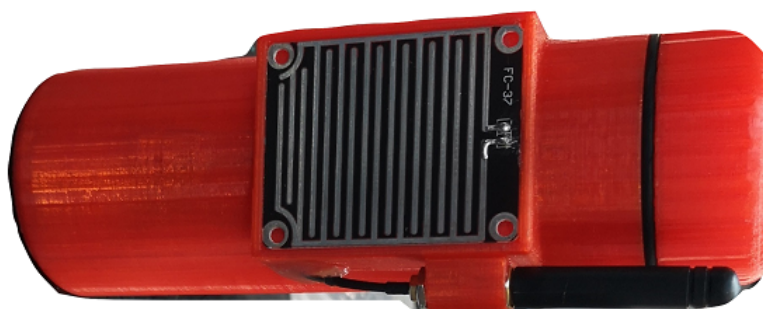


Figura 4.17: Caixa de proteção impressa em PLA

4.3 Estação base de detecção de Homem ao Mar

O funcionamento da estação base é assegurado pela utilização da placa Wemos SX1278 LoRa ESP32, e de um computador que tenha instalado o programa Arduino IDE. A placa permite receber o pacote de dados proveniente do dispositivo individual de detecção, após receber esse pacote de dados, exibe essa informação no Serial Monitor do programa Arduino IDE. A placa é alimentada por uma das portas USB do computador. Foi também desenhado em SolidWorks uma caixa de proteção para a placa. À semelhança da caixa de proteção do dispositivo individual, a caixa de proteção para a placa Wemos SX1278 LoRa ESP32 foi impressa após desenhada, recorrendo à tecnologia de impressão 3D.

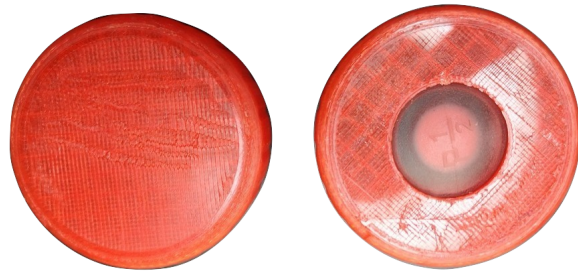


Figura 4.18: Tampas da caixa de proteção impressas em PLA



Figura 4.19: Estação base

4.4 Programação Arduino IDE

Por forma a desenvolver o software necessário para a aplicação do algoritmo de deteção de Homem ao Mar proposto no Capítulo 3, foi utilizado o programa Arduino IDE. O Arduino IDE é um programa de ambiente de desenvolvimento integrado que permite criar, editar e compilar código por forma a ser executado por diferentes microcontroladores, incluindo o ESP32. Apresentam-se de seguida as principais funções utilizadas, de acordo com as características que se pretendem que o sistema de deteção de Homem ao Mar tenha.

4.4.1 Modo adormecido profundo ESP32

O ESP32 possui 5 modos de funcionamento de acordo com a energia necessária para a sua alimentação. O modo adormecido profundo, é, a seguir ao modo de hibernação, o modo de funcionamento que necessita de menos energia. No modo adormecido profundo apenas é possível utilizar o módulo RTC e o módulo do coprocessador ULP, sendo possível obter um consumo de apenas $10\mu\text{A}$. Comparando o modo adormecido profundo com o modo normal de funcionamento do ESP32, onde o consumo de energia ronda os 200 mA, é possível verificar um consumo de energia 20 mil vezes inferior através da utilização do modo adormecido profundo. Sendo apenas necessário que o microcontrolador realize determinadas tarefas após ser detectada uma possível situação de Homem ao Mar, ao utilizar o modo adormecido profundo, é possível garantir uma enorme poupança de energia e consequentemente aumentar o tempo de duração da bateria de alimentação. É possível colocar o ESP32 em modo adormecido profundo através da função `esp_deep_sleep_start()`.

Após ser colocado em modo adormecido, é possível acordar o ESP32 das seguintes formas: através de um período de tempo predefinido, após identificação de um determinado valor de sensibilidade lido por um pino do tipo touch pin, ou após detetar um determinado valor através dos pinos RTC GPIO. Relativamente aos pinos RTC GPIO, estes permitem que o ESP32 altere o seu modo de funcionamento, permitindo que o mesmo acorde e desempenhe as diferentes tarefas para as quais for programado. Dos diferentes pinos RTC GPIO existentes na placa Wemos TTGO T-Beam, definiu-se o GPIO 02 para acordar o ESP32 através do botão adicional e o GPIO 25 para acordar o ESP32 através do acelerómetro MPU6050. Para tal, foi necessário recorrer a uma máscara de bits, `0x20000004`, e à variável `BUTTON_PIN_BITMASK`. A função `esp_sleep_enable_ext1_wakeup()` permite que o microcontrolador seja acordado sempre que o GPIO 02 ou o GPIO 25 estejam no estado HIGH, de acordo com o identificado pela função do tipo lógico `ESP_EXT1_WAKEUP_ANY_HIGH`. A variável `RTC_DATA_ATTR` permite guardar valores na memória RTC do ESP32. A sua utilização permite durante o início do programa guardar uma variável do tipo lógico, por forma a durante a rotina definir um determinado conjunto de tarefas com base no valor dessa variável.

4.4.2 Interrupção causada pela detecção de queda livre

O acelerómetro MPU6050 permite detetar interrupções causadas por diferentes situações. Através da utilização da sua biblioteca de funções, é possível programar o MPU6050 para que detete uma situação de queda livre e altere o estado do pino INT. O pino INT está normalmente no estado LOW, alterando o seu estado para HIGH, após ser detetado pelo acelerómetro valores de aceleração típicos de um determinado movimento. Assim, utilizando as funções do tipo lógico: `mpu.setIntFreefallEnabled()`, `mpu.setIntZeroMotionEnabled()` e `mpu.setIntMotionEnabled()`, e com os valores lógicos necessários, foi possível programar o acelerómetro para que apenas alterasse o estado do pino INT quando fosse detetado uma situação de queda livre.

Recorreu-se também à função `mpu.setFreefallDetectionThreshold(FF_THR)` e à função `mpu.setFreefallDetectionDuration(FF_DUR)`, que permitem definir valores relacionados com as características da queda que se pretende que seja detetada pelo acelerómetro. A detecção de queda livre ocorre quando os valores de aceleração medidos nos 3 eixos (x,y,z) são inferiores ao valor atribuído à variável `FF_THR`. Assim, sempre que é detetado pelo acelerómetro um valor absoluto de aceleração inferior ao valor definido pelo utilizador através da variável mencionada, existe um incremento num contador. Quando tal não acontece, o contador é decrementado. A interrupção devido à situação de queda livre inicia-se quando o valor do contador atinge um valor igual ou superior ao valor atribuído à variável `FF_DUR`, sendo que o valor do contador nunca ultrapassa o valor desta mesma variável. A interrupção acaba por terminar quando o contador sofrer um novo decremento até zero. Nos gráficos da figura 4.20 é apresentado um exemplo através dos valores de aceleração de um dos eixos (InvenSense, 2013).

4.4.3 Valor de referência para a detecção de água

Recorreu-se a um simples programa de leitura de valores analógicos a partir do sensor de detecção de água para definir um valor de referência para a detecção do contacto com água. Este programa permitiu identificar um valor máximo, correspondente à ausência de água e um valor mínimo correspondente à placa totalmente imersa em água. Após isso definiu-se um valor de referência, que evitasse a ocorrência de alarmes devido à existência de precipitação e garantisse a rápida detecção em caso de contacto direto com a água. A função utilizada para ler o valor analógico recolhido pelo sensor de detecção de água é a função `analogRead()`. Esta função permite a leitura de valores através dos pinos analógicos com uma resolução de 12 bits, o que significa que os valores possíveis de ler através destes pinos variam entre 0 e 4095 (Random Nerd Tutorials, 2019a).

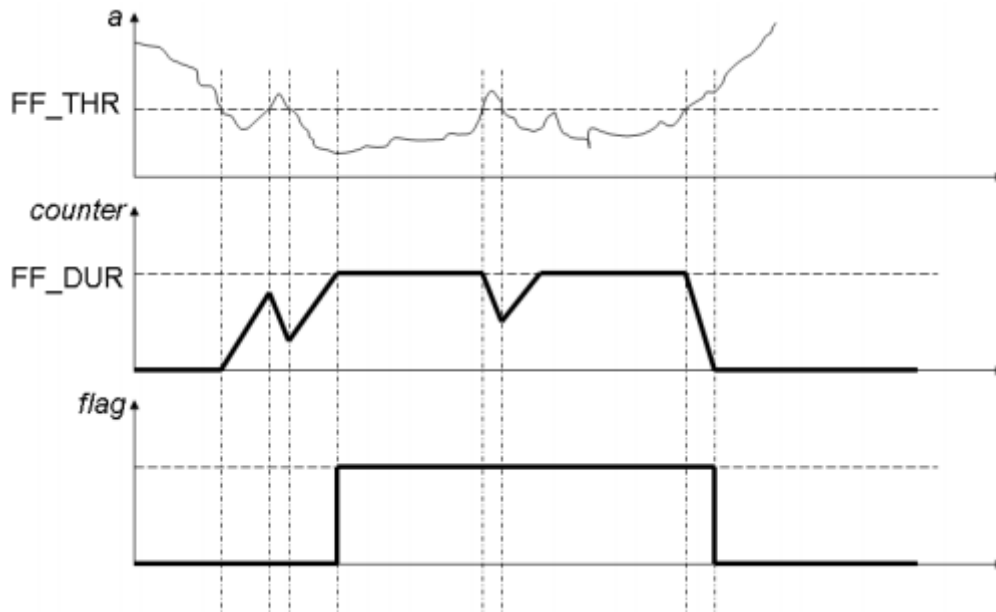


Figura 4.20: Detecção de queda através de aceleração de um dos eixos (InvenSense, 2013)

4.4.4 Botão adicional

O botão adicional, quando pressionado, permite acordar o ESP32 ou colocá-lo em modo adormecido profundo, funcionando como botão de emergência ou como botão de redefinição de estado. Para que o ESP32 possa ser acordado através da utilização do botão, é necessário incluir o número do pino utilizado pelo botão, neste caso o GPIO2, na variável, `BUTTON_PIN_BITMASK` `0x2000004`. Ao pressionar o botão, sem que o microcontrolador tenha sido acordado pelo pino INT do acelerômetro MPU6050, o estado do pino GPIO2 passa para HIGH, sendo isso identificado pela função `ESP_EXT1_WAKEUP_ANY_HIGH`, acordando assim o ESP32. Devido à possível existência de falsos positivos, caso seja necessário voltar a colocar o microcontrolador no modo adormecido profundo, é possível fazê-lo através do botão. Após ser acordado pelo pino INT do acelerômetro MPU6050, a função `attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(INTERRUPT_PIN), sleep, HIGH)` permite que, ao pressionar o botão, identificado pelo estado HIGH na função, seja desempenhada a rotina `sleep` que coloca novamente o microcontrolador em modo adormecido profundo através da função `esp_deep_sleep_start()`.

4.4.5 Envio de pacote de dados LoRa

Caso seja detetado uma situação de Homem ao Mar, o dispositivo individual comunica com a estação base através do protocolo LoRa. Para tal, utilizou-se as funções: `LoRa.beginPacket()` e `LoRa.endPacket()` no código desenvolvido para o dispositivo individual e a função `LoRa.read()` no código utilizado para a estação base, permitindo assim transmitir e receber a informação pre-

tendida.

4.4.6 Código final

Dispositivo individual de detecção de Homem ao Mar

É apresentado no apêndice C o código final para o dispositivo individual de detecção de Homem ao Mar. Este código tem por base o algoritmo de detecção proposto no capítulo anterior, figura 3.3.

Quando o dispositivo é ligado pela primeira vez, guarda na sua memória RTC as variáveis `RTC_DATA_ATTR bool notdetect = true` e `RTC_DATA_ATTR bool firsttime = true`. O valor destas variáveis, por serem do tipo `RTC_DATA_ATTR`, é guardado mesmo durante o modo adormecido profundo do microcontrolador. Sempre que o microcontrolador é ligado ou altera o seu modo de funcionamento para o modo normal, entra dentro da estrutura `void setup()`, onde inicialmente executa a função `esp_sleep_enable_ext1_wakeup(BUTTON_PIN_BITMASK, ESP_EXT1_WAKEUP_ANY_HIGH)`. Esta função permite que o microcontrolador, após ser colocado em modo adormecido profundo, possa acordar para o modo normal de funcionamento através do acelerómetro ou através do botão de emergência. Após executar esta primeira função, e ainda dentro do `void setup()`, com base no valor da variável `firsttime` o microcontrolador executa diferentes processos. Caso `firsttime = true` é executado o ciclo `if (firsttime)`, onde se encontram as funções relacionadas com a detecção de queda através do módulo MPU6050. Durante o processo, o módulo é iniciado e os valores de correção são definidos, bem como as funções relacionadas com a detecção de queda. Após isso a variável `firsttime` assume o valor `firsttime = false`, sendo o microcontrolador de seguida colocado em modo adormecido profundo através da função `esp_deep_sleep_start()`. Uma vez no modo adormecido profundo, o microcontrolador apenas será acordado através de informação proveniente do acelerómetro ou do botão de emergência. Quando tal acontece, uma vez que `firsttime = false`, quando executa novamente o `setup` passa a ser executado apenas o ciclo `else`. Neste ciclo é registado o momento em que o microcontrolador acordou através da variável `t0 = millis()`, é definida a comunicação GPS através da função `Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, 12, 15)`, são definidos os pinos necessários para a comunicação LoRa, `LoRa.setPins(SS, RST, DI0)` e a alimentação do pino ligado ao LED do botão de emergência, `pinMode(LED_PIN, OUTPUT)`. A função `attachInterrupt()` permite que, caso seja detetado um falso positivo, se coloque o dispositivo em modo adormecido novamente, após pressionar o botão de emergência. Após acordar, o microcontrolador identifica o pino responsável pela alteração do seu modo de funcionamento. Caso tenha sido acordado pelo pino INT do módulo MPU6050, `if (wakeup_by == 25)`, indicando que foi detetada uma queda, o dispositivo realiza, durante 1 minuto, `if ((t - t0) < 60000)`, a leitura de valores através da

placa de detecção de água, `water_sensor = analogRead(WATER_PIN)`, comparando os valores lidos, que variam entre 0 a 4095, conforme se explica na subsecção 5.1.3 do capítulo 5, com o valor de referência, `if(watersensor <= 2300)`. Caso durante esse intervalo de tempo seja detetado o contacto com água, é enviado para a estação base um pacote de dados LoRa, com o alarme e a posição do dispositivo através do envio das coordenadas GPS. Caso, após o intervalo de tempo não tenha sido detetado o contacto com água, o microcontrolador volta para o modo de funcionamento adormecido profundo. Por outro lado, caso o microcontrolador tenha sido acordado pelo pino associado ao botão de emergência, o pacote de dados LoRa é enviado diretamente para a estação base. A função `void packet()` define o pacote de dados que é enviado através das comunicações LoRa.

Estação base de detecção de Homem ao Mar

A estação base de detecção de Homem ao Mar permite receber as coordenadas GPS da posição do elemento. As coordenadas são enviadas através de um pacote de dados LoRa, sendo as coordenadas enviadas na forma de frases NMEA. No apêndice D encontra-se o código utilizado para a estação base. Durante o `void setup` é executada a função `LoRa.setPins(18,14,26)` que permite definir os pinos utilizados para receber o pacote de dados LoRa. Após isso, já durante o `void loop` é recebido o pacote de dados, caso seja possível a receção do mesmo (`int packetSize = LoRa.parsePacket();`), a informação é apresentada no monitor serial do programa Arduino IDE ou, em alternativa, diretamente depurado pelo programa OpenCPN, como sugerido na secção 5.3 do capítulo 5.

Capítulo 5

Validação experimental

Com o objetivo de verificar as capacidades do sistema de detecção de Homem ao Mar proposto e avaliar de que forma o mesmo responde às questões enunciadas no capítulo 1 deste trabalho, testou-se as diferentes funcionalidades do protótipo desenvolvido, através da realização de um conjunto de testes. Estes testes consistiram em, inicialmente, avaliar as diferentes funcionalidades do sistema de detecção de Homem ao Mar individualmente e em ambiente de laboratório. Após essa primeira avaliação, testou-se o sistema de detecção de Homem ao Mar a bordo do NRP Almirante Gago Coutinho, por forma a simular a aplicação do sistema de detecção de Homem ao Mar a bordo de uma unidade naval. Por fim, realizou-se o teste final do sistema de detecção de Homem ao Mar, através da simulação de uma situação de Homem ao Mar, na piscina da base. A realização dos diferentes testes implicou a utilização de diferentes tipos de código de programação, tendo sido utilizado o programa Arduino IDE para o desenvolvimento desse mesmo código. No apêndice A encontram-se os diferentes programas utilizados.

5.1 Testes iniciais

Os testes realizados inicialmente ao sistema de detecção de Homem ao Mar tiveram como objetivo a verificação das principais funcionalidades do sistema de detecção de Homem ao Mar, nomeadamente:

- Capacidade de comunicação LoRa;
- Detecção de queda através do acelerómetro MPU6050;
- Detecção de água através do sensor de detecção FC-37;
- Utilização do botão de emergência.

5.1.1 Capacidade de comunicação LoRa

O primeiro teste realizado à capacidade de comunicação entre a estação base e o dispositivo individual de detecção de Homem ao Mar teve por base o envio de um pacote de dados, com as coordenadas GPS recolhidas através do módulo NEO-M8N presente na placa Wemos TTGO T-Beam, desde o dispositivo individual de detecção até à estação base. Este teste consistiu em colocar a estação base numa das salas de aula existentes no piso superior do Departamento de Ciências e Tecnologia da Escola Naval e afastar progressivamente o dispositivo individual até que deixasse de ser possível a comunicação entre a estação base e o dispositivo individual. Neste teste utilizou-se inicialmente uma antena no interior da caixa de proteção do dispositivo individual de detecção, sendo o alcance de comunicação bastante limitado com esta configuração (falha no envio de dados para distâncias superiores a 150 m). Após substituição da antena interna pela antena exterior presente na caixa de proteção, foi possível comunicar sem dificuldades a uma distância bastante superior à verificada através da utilização da antena interna.

Devido ao teste inicial ter sido realizado num ambiente com bastantes obstáculos físicos, causando perturbações à transmissão da informação desde o dispositivo individual de detecção até à estação base, existiu a necessidade de realizar novo teste de comunicações, desta vez a bordo do NRP Almirante Gago Coutinho, num espaço com considerável área livre, por forma a evitar ao máximo qualquer tipo de perturbações, como será seguidamente descrito na secção 5.2.

5.1.2 Detecção de queda através do acelerómetro MPU6050

O teste inicial de detecção de queda consistiu em deixar cair o dispositivo individual de detecção, sem caixa de proteção, de diferentes alturas. Durante este teste inicial, nem todas as quedas eram detetadas, tendo sido necessário calibrar o acelerómetro. A calibração do módulo MPU6050 ocorreu através da definição de valores de correção para os diferentes parâmetros do módulo. Esses valores de correção foram calculados através do programa de calibração que se encontra no apêndice B. Da execução deste programa resultaram os valores de correção apresentados na tabela 5.1. Após terem sido calculados os valores de correção de calibração do módulo MPU6050, realizaram-se novos testes de detecção de queda. Nestes testes, das diversas vezes que o dispositivo foi deixado cair de diferentes alturas, existiu detecção de queda. A detecção de queda ocorre com base nos valores das funções: `mpu.setFreefallDetectionThreshold(17)` e `mpu.setFreefallDetectionDuration(2)`. Os valores definidos nestas funções tem por base os valores utilizados numa aplicação de detecção de queda de pessoas idosas de IoT (Susanti, 2016).

Parâmetro	Valor de correção
acelX	-3083
acelY	2084
acelZ	1526
giroX	-5
giroY	43
giroZ	9

Tabela 5.1: Valores de correção MPU6050

5.1.3 Detecção de água através do sensor de deteção FC-37

O pino analógico do sensor de deteção de água encontra-se ligado ao pino GPIO0 do ESP32, um pino do tipo analógico com uma resolução de 12 bits, sendo que os valores lidos por este pino variam entre 0 e 4095. Quando a leitura feita através do pino analógico é igual a 0 significa que existe uma tensão de 0 V, e quando o valor lido é igual a 4095 o mesmo corresponde a uma tensão de 3,3 V. O aumento de resistência causado pela existência de água na placa, leva a que a tensão do pino analógico diminua, diminuindo por sua vez o valor lido (Random Nerd Tutorials, 2019b). Por forma a definir um valor de referência para a deteção de água, realizou-se uma experiência em que, durante um minuto, foram lidos os valores detetados pelo sensor FC-37. Para tal, simulou-se uma situação de deteção de queda seguido de uma situação de contacto com água. No gráfico da figura 5.1 está representado a leitura de valores através do pino GPIO0 do ESP32, por sua vez ligado ao pino analógico do sensor de deteção. O valor máximo observado, corresponde ao momento inicial da queda, onde ainda não existia contacto com água, sendo esse valor 4095, o valor correspondente à tensão de 3,3 V e à situação onde existe menor resistência. Após o impacto com a água é registado o menor valor, correspondente à situação de maior resistência, sendo esse valor de 1998. Nos instantes seguintes, e até final do intervalo de tempo considerado para a experiência, o valor lido estabiliza, sendo o valor médio calculado de 2279. Com base no cálculo do valor médio, definiu-se como valor de referência para a deteção de contacto com a água, o valor 2300. Este valor é ligeiramente acima do valor médio, por forma a garantir que a comunicação entre o dispositivo individual de deteção e estação base ocorre no mais curto intervalo de tempo possível.

5.1.4 Botão de emergência

Para além do teste de funcionamento dos diferentes sensores, testou-se a utilização do botão de emergência. Programou-se o botão para: acordar o microcontrolador após ser pressionado numa situação de emergência, e para voltar a colocar o microcontrolador em modo adormecido

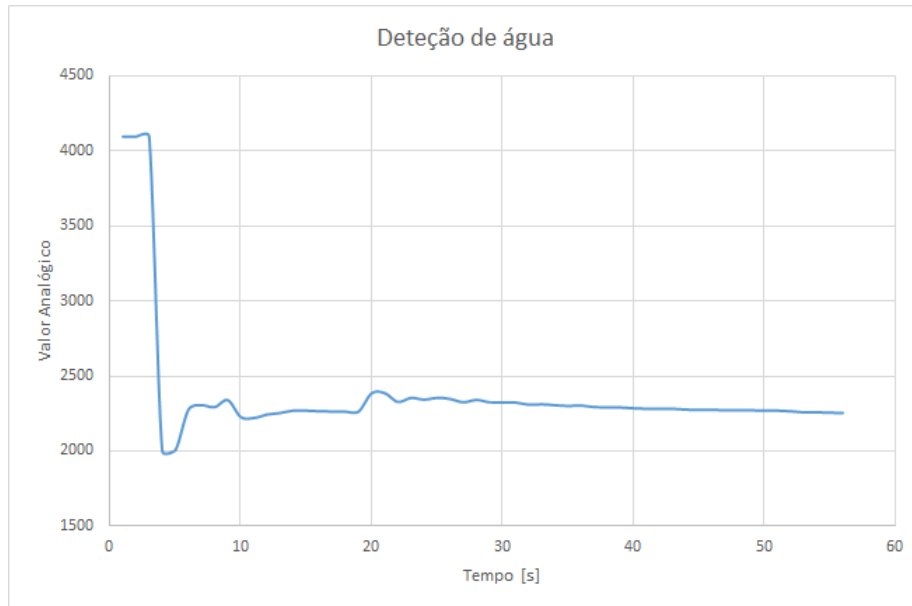


Figura 5.1: Gráfico de valores observados sensor de detecção FC-37

profundo, caso tivesse sido detectada a existência de um falso alarme. Os testes realizados ao botão de emergência permitiram confirmar o seu bom funcionamento e garantir a sua aplicação no protótipo.

5.2 Testes a bordo NRP Almirante Gago Coutinho

Com a finalidade de testar o funcionamento do sistema de detecção de Homem ao Mar num navio, realizaram-se testes a bordo do navio hidrográfico NRP Almirante Gago Coutinho. Os testes foram realizados na ponte do navio, tendo-se utilizado a estação base ligada a um computador pessoal, permitindo receber a informação proveniente do dispositivo individual de detecção. Estes testes tiveram como principal objetivo verificar a existência de falsos positivos durante a realização de diferentes tarefas a bordo do navio, bem como realizar um novo teste de comunicações LoRa, aproveitando a considerável área livre em torno do navio e o facto da estação base estar colocada na ponte do mesmo.

Relativamente à verificação da existência de falsos positivos, o teste consistiu em utilizar o protótipo desenvolvido para o dispositivo individual de detecção de Homem ao Mar no bolso superior esquerdo do fato de embarque, durante um dia normal de atividades a bordo, não se tendo verificado qualquer ocorrência de falsos positivos durante este dia de testes.

Como referido anteriormente, para além da realização do teste de falsos positivos, realizou-se também um novo teste ao alcance de comunicações. Com a antena da estação base colocada na asa da ponte de bombordo do navio e afastando o dispositivo individual de detecção progressivamente



Figura 5.2: Distância medida comunicações LoRa

para sul, foi possível garantir o envio de um pacote de dados com informação GPS uma distância de aproximadamente 515 metros. Na figura 5.2, é possível verificar a distância medida. Note-se que esta distância se deve às limitações físicas do local, que não permitiram alcançar uma maior distância entre a estação base e dispositivo individual de deteção.

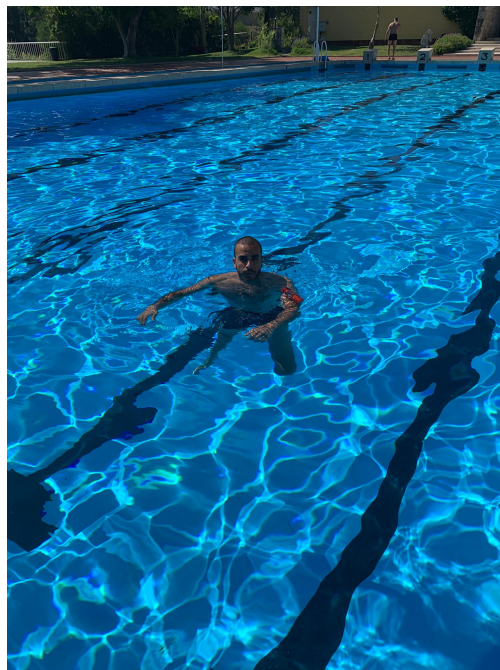
5.3 Testes finais

Os testes finais surgiram após realização dos diferentes testes iniciais e dos testes realizados a bordo do NRP Almirante Gago Coutinho. Estes últimos testes consistiram na simulação de uma situação de Homem ao Mar. Na tentativa de recriar o mais aproximadamente possível uma situação de Homem ao Mar, recorreu-se à piscina aberta da base, onde se simulou a queda de um elemento de um navio. O protótipo desenvolvido para o dispositivo individual de deteção foi colocado no braço esquerdo da vítima, figura 5.3a, tendo sido após isso simulada uma situação de Homem ao Mar com a queda da vítima para a água, figura 5.3b. O dispositivo individual de deteção encontrava-se inicialmente a cerca de 1,80 m da superfície da água, tendo acompanhado o movimento do corpo da vítima durante a queda. Foram simuladas posições distintas de queda, isto é, posições que levam ao contacto inicial de diferentes partes do corpo com a superfície da água. Das diferentes posições adotadas durante os testes, foi possível em todas elas a deteção de queda. Na figura 5.4 e na figura 5.5 estão representadas duas diferentes posições de queda.

Nos diferentes testes realizados foi possível receber na estação base as coordenadas GPS,



(a) Antes de situação de Homem ao Mar



(b) Durante situação de Homem ao Mar

Figura 5.3: Elemento com dispositivo individual de detecção

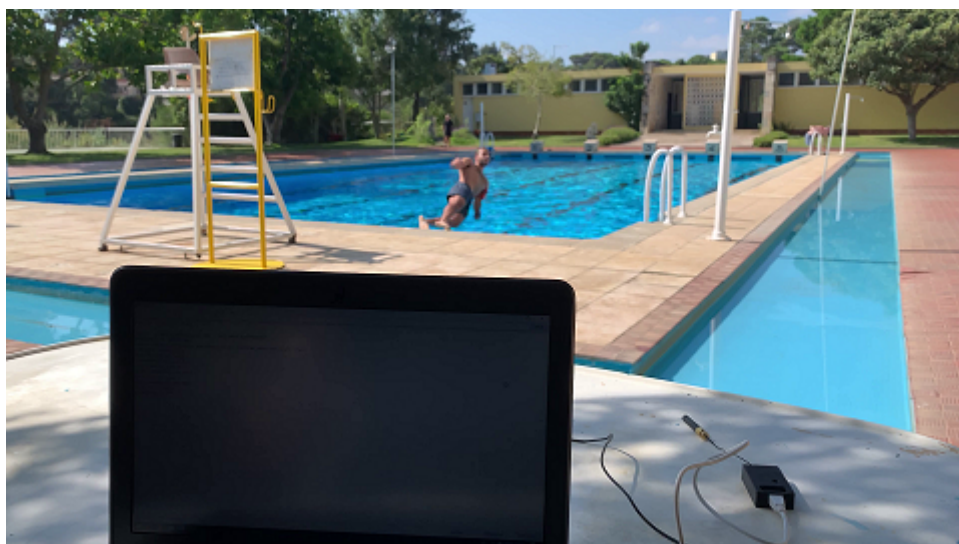


Figura 5.4: Posição de queda A

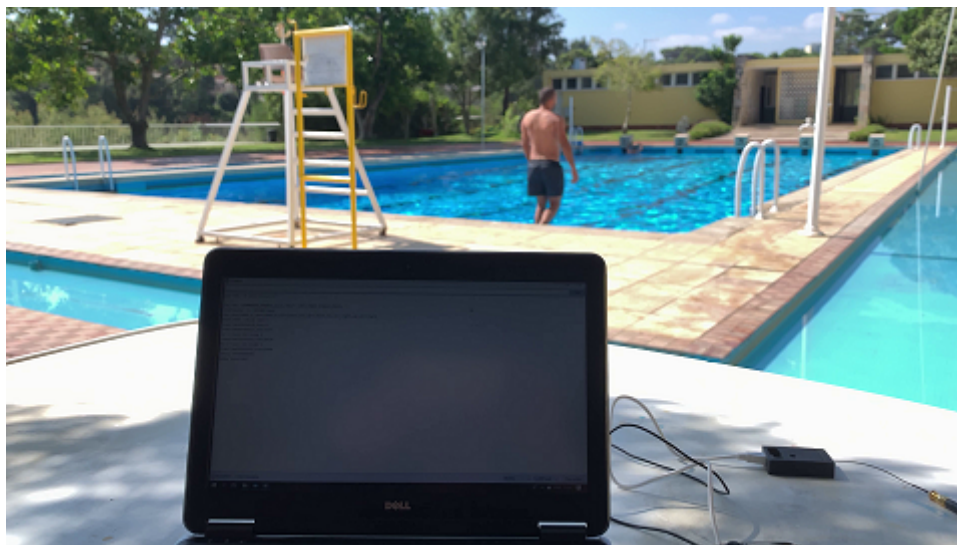


Figura 5.5: Posição de queda B

que permitiam localizar a posição do elemento. Com o objetivo de introduzir o estudo acerca da possibilidade de identificar o elemento em situação de Homem ao Mar diretamente no ECDIS, que consiste num computador que permite o exercício da navegação através de uma carta eletrónica (Martek Marine Ltd, 2019), enviou-se durante os testes finais o pacote de dados recebido através da estação base, que se encontrava por sua vez ligada a um computador portátil, diretamente para uma conexão do programa OpenCPN, programa free source de ajuda à navegação (OpenCPN, 2019), bastante semelhante ao ECDIS. Foi assim possível identificar a posição do elemento através da capacidade de depuração de frases NMEA que o programa oferece. Esta capacidade de identificação da posição do elemento numa carta de navegação eletrónica permite o permanente acompanhamento da sua posição, identificar mais facilmente as condicionantes relacionadas com a navegação que dificultem o resgate, bem como uma representação visual do tipo de manobra a efetuar para o seu resgate. Na figura 5.6 está representado a posição do elemento, sendo possível verificar a amarelo o rasto deixado pelo mesmo.

Quanto à comunicação entre a estação base e o dispositivo individual de deteção, durante os testes finais, testou-se movimentar a estação base por forma a aumentar a distância entre a estação base e o dispositivo individual, que se encontrava em contacto com a água, de forma semelhante à demonstrada na figura 5.3b. Numa zona com alguma perturbações físicas, resultantes principalmente da existência de vegetação entre o local onde se encontrava a estação base e entre a piscina, alcançou-se facilmente uma distância de aproximadamente 100 m, sem que a mensagem enviada através do pacote de dados sofresse algum tipo de alteração, figura 5.7.

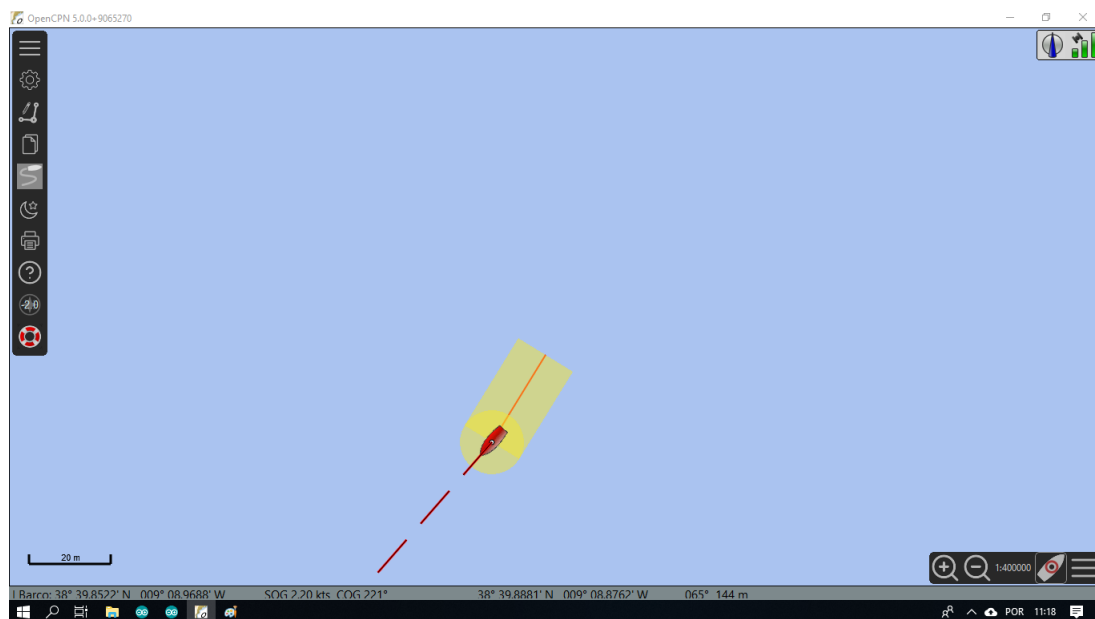


Figura 5.6: Identificação de posição através do OpenCPN



Figura 5.7: Distância registada durante a simulação de situação de Homem ao Mar

5.4 Resultados observados

O envio e receção do pacote de dados com as coordenadas GPS através do protocolo LoRa permite identificar rapidamente a posição do dispositivo individual de deteção de Homem ao Mar. Através da utilização de duas antenas de comunicação iguais à antena fornecida com a placa Wemos TTGO T-Beam, e mesmo com a antena do dispositivo individual de deteção em contacto direto com a água, foi sempre possível receber na estação base a informação com as coordenadas GPS. Tal facto permite afirmar que a tecnologia LoRa, com base em ter verificado nos diferentes testes valores satisfatórios de distância entre a estação base e o dispositivo de deteção individual, adequa-se ao sistema de deteção de Homem ao Mar proposto.

A situação de queda, ainda que não tenha existido um estudo exaustivo das diferentes possibilidades de programação do modo de interrupção através da deteção de queda livre do módulo MPU6050, é identificada correctamente, podendo os parâmetros do acelerómetro serem configurados para minimizar a probabilidade de ocorrência de falsos positivos.

A deteção de água através da placa de deteção do módulo FC-37 revelou-se eficiente, sendo o valor de referência utilizado adequado à necessidade de que apenas seja enviado o alarme de Homem ao Mar em caso de deteção de queda seguida de contacto direto com a água.

O botão de emergência permite acordar rapidamente o microcontrolador, permitindo que o alarme de Homem ao Mar ocorra também bastante rapidamente. A sua implementação num projeto futuro revela-se bastante interessante, pois permite a rápida identificação de uma situação de Homem ao Mar, podendo também voltar a adormecer o controlador se necessário.

A realização dos diferentes testes permite assim afirmar que é possível utilizar este sistema para a deteção de uma situação de Homem ao Mar e que o mesmo funciona, embora existam aspetos que possam ser melhorados, como se irá apresentar no capítulo 6.

Capítulo 6

Dispositivo final

Depois de ter sido demonstrada a prova de conceito para o dispositivo de detecção de Homem ao Mar, usando o protótipo apresentado nos capítulos anteriores, pretende-se neste capítulo discutir as principais alterações a efectuar no protótipo com vista à implementação de um dispositivo completamente funcional.

6.1 Miniaturização

O protótipo desenvolvido para o dispositivo individual de detecção possui dimensões que não o tornam aceitável para a sua utilização nos fatos de embarque. As suas dimensões estão directamente relacionadas com a placa utilizada para o desenvolvimento do protótipo. O desenvolvimento do protótipo baseou-se na utilização da placa Wemos TTGO T-Beam que, apesar de permitir ter o módulo LoRa e o módulo GPS previamente ligados ao ESP32, bem como o acoplamento direto de uma bateria do tipo 16850 para alimentação da placa, acaba por ser limitada face à sua utilização nos fatos de embarque.

As diferentes placas de desenvolvimento disponíveis no mercado, são desenvolvidas, na sua maioria, por forma a permitir a sua aplicação nos mais variados tipos de projetos, não existindo uma grande preocupação com as suas dimensões. O tamanho do dispositivo individual de detecção pode ser facilmente reduzido através do desenvolvimento de uma placa expressamente para ao efeito. Os componentes necessários para o dispositivo individual de detecção acabam por ter dimensões bastante reduzidas, sendo apenas a placa na qual estão aplicados limitativa em termos de dimensões. Considerando as dimensões dos componentes e a tecnologia existente em torno de diferentes tipos de *wearable electronics* (Da Silva, Guerreiro, Lourenço, Fred e Martins, 2014), o desenvolvimento de uma placa específica para o dispositivo individual de detecção iria permitir uma redução significativa das dimensões comparativamente ao protótipo e a sua fácil aplicação nos fatos

de embarque.

6.2 Aumento de autonomia

O consumo de energia verificado através da leitura de valores de corrente realizada ao protótipo desenvolvido inviabiliza a ideia de apenas ser necessário substituir, ou recarregar, a bateria de alimentação utilizada apenas após um longo período de tempo.

A autonomia do dispositivo individual de detecção pode ser melhorada caso seja possível garantir a utilização dos diferentes módulos nos modos de funcionamento de menor consumo energético, sempre que o dispositivo não esteja a ser utilizado, isto pode ser facilmente garantido caso o módulo LoRa e módulo GPS se encontrem desativados sempre que o microcontrolador esteja no modo adormecido profundo. O módulo LoRa SX1278, quando colocado no seu modo adormecido de funcionamento, necessita de uma corrente máxima de $1\mu\text{A}$ (Semtech, 2015) enquanto que o módulo NEO-M8N, durante o modo de poupança de energia permite uma redução de corrente para valores em torno de 10mA , sendo este valor para uma fonte de alimentação de 3V (U-Blox, 2015). Considerando o valor, já referido anteriormente, de $10\mu\text{A}$ para o consumo de energia do microcontrolador ESP32 no modo adormecido profundo, podemos fazer uma estimativa exagerada de um consumo de corrente de 15mA para o dispositivo individual de detecção quando o mesmo não se encontra a ser utilizado, tendo em conta os valores de corrente mencionados. Repara-se que este valor, à semelhança do que acontece com a placa Wemos TTGO T-Beam utilizada no desenvolvimento do protótipo, é altamente influenciada pelo módulo GPS.

Uma solução para o excesso de consumo energético provocado pelo módulo GPS passa por cortar a alimentação do módulo durante a utilização do microcontrolador em modo adormecido profundo. O corte da alimentação é possível caso se considere alimentar o módulo através de um pino do microcontrolador programado para apenas fornecer energia a esse pino após ser detetada uma situação de queda. Esta solução permite reduzir substancialmente o consumo de energia do dispositivo, aumentando a autonomia do mesmo. Considerando esta solução, tendo como referência um consumo de corrente de $20\mu\text{A}$ em modo adormecido profundo, é possível alimentar dispositivo individual de detecção durante 1 ano com uma bateria com uma capacidade de 175mAh (equação 6.1). Tendo em conta o valor calculado seria possível alimentar o dispositivo individual de detecção com uma simples bateria LiPo, como por exemplo, a bateria LiPo de $3,7\text{V}$ e 700mAh da figura 6.1, que pode ser adquirida por cerca de 2,5 Euros Gearbest, 2019.

$$\text{capacidade} = \text{horas} \times \text{corrente} = (365 \times 24) \times 20 \times 10^{-6} = 175\text{mAh} \quad (6.1)$$

Esta solução, embora permita reduzir bastante o consumo de energia, tem o problema de a

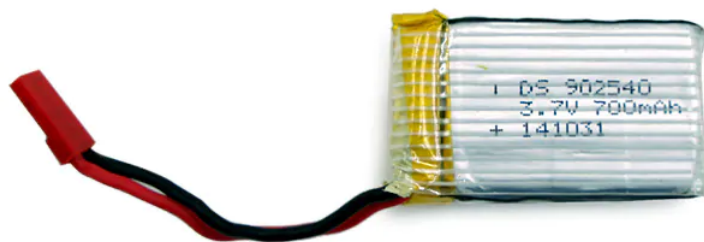


Figura 6.1: Bateria LiPo 3,7 V e 700 mAh Gearbest, 2019

localização do elemento de Homem ao Mar demorar mais tempo, devido ao tempo de arranque do GPS. Desta forma, os pacotes de dados enviados inicialmente para a estação base não vão possuir informação GPS válida. Caso a comunicação ocorra imediatamente após a deteção de Homem ao Mar e seja dado o alarme no navio, existe uma grande probabilidade de ainda existir contacto visual com a vítima, o que diminui o impacto de não existir informação GPS nos momentos iniciais.

Durante o modo normal de funcionamento, como já verificado através das medições efetuadas espera-se picos de corrente próximos dos 200 mA.

Com base nestes valores, a escolha da bateria a utilizar deverá ser um compromisso entre diferentes fatores, nomeadamente:

- A tensão nominal deverá estar entre os 3,0 V, e os 3,6 V (tensão de operação do microcontrolador ESP32);
- Deverá ser do menor tamanho possível;
- Possuir capacidade suficiente para alimentar o dispositivo durante um longo intervalo de tempo;
- Deverá conseguir disponibilizar o valor máximo de corrente quando necessário (tendo em conta os picos de corrente existentes durante uma situação de Homem ao Mar);
- Considerar a utilização de uma bateria recarregável.

6.3 Estanquidade

O desenvolvimento de um dispositivo individual de deteção completamente funcional, necessita também de garantir que toda a eletrónica necessária e bateria se encontram totalmente protegidas através de um ambiente estanque. Existem diferentes opções que podem ser consideradas, como por exemplo: a impressão 3D de uma caixa de proteção, seguida de impermeabilização da mesma através do uso de epoxi (ideia que acabou por funcionar relativamente bem com o protótipo desenvolvido para os diferentes testes), ou, em alternativa, a utilização de um invólucro maleável que garanta a estanquidade dos componentes.

Tendo em conta os diferentes tipos de materiais disponíveis para impressão 3D, seria interessante realizar uma pesquisa acerca de que materiais existem realmente disponíveis, verificando se existe algum tipo de material que reúna as condições necessárias para a proteção dos componentes.

6.4 Recetor a bordo

Quanto à estação base do sistema de deteção de Homem ao Mar, e tendo em conta as características do protótipo utilizado para a estação base, existe trabalho que pode ser realizado e que permite melhorar o funcionamento do sistema, nomeadamente:

O protótipo atualmente existente permite obter a posição do dispositivo individual de deteção, através da receção do pacote de dados LoRa. Este pacote de dados consiste numa frase do tipo NMEA, que pode ser injetada, à semelhança do que acontece no software OpenCPN, no ECDIS, equipamento disponível em todos os navios da Marinha Portuguesa. Ora, ao ser possível visualizar a posição da vítima através do ECDIS é facilitada a sua manobra de recolha, e a monitorização da sua posição.

- Averiguar se é possível ligar o receptor LoRa às antenas dos navios;
- Em caso contrário, e não existindo possibilidade de ligar o recetor LoRa às antenas existentes nos navios, verificar a viabilidade da instalação de uma antena no navio. Devendo ser esta preferencialmente colocada à popa do navio, tendo em conta o movimento relativo do elemento em situação de Homem ao Mar.
- Perceber se é possível ou não injetar diretamente no ECDIS dos navios a frase NMEA que contem as coordenadas GPS. O protótipo atualmente existente permite obter a posição do dispositivo individual de deteção, através da receção do pacote de dados LoRa. Este pacote de dados consiste numa frase do tipo NMEA, que pode ser injetada, à semelhança do que acontece no software OpenCPN, no ECDIS, equipamento disponível em todos os navios da

Marinha Portuguesa. Ora, ao ser possível visualizar a posição da vítima através do ECDIS é facilitada a sua manobra de recolha, e a monitorização da sua posição.

- Para além de ser detetado no navio as coordenadas GPS, desenvolver um sistema que permitisse o rápido alarme na ponte do navio, por exemplo através de um aviso sonoro, assim que fosse recebido o primeiro pacote de dados com a frase NMEA.

Conclusão

Este trabalho teve como principal objetivo estudar a aplicabilidade de um sistema de deteção de Homem ao Mar nos navios da Marinha Portuguesa. Graças também à existência de um número cada vez maior de dispositivos de pequenas dimensões e com capacidade para realizar um elevado número de diferentes tarefas, com as mais diversas aplicações em IoT, considerou-se também a realização deste trabalho como uma possibilidade de avaliar de que forma esses novos dispositivos poderiam contribuir positivamente para o desenvolvimento de tecnologia relacionada com a deteção de Homem ao Mar. Como tal, ao longo dos diferentes capítulos do trabalho, e com base nas características definidas no capítulo 1 para o sistema de deteção de Homem ao Mar (sistema de baixo custo, simples instalação e de fácil aplicação nos fatos de embarque), foram cumpridas diferentes etapas que culminaram com a proposta final para o desenvolvimento de um sistema de deteção de Homem ao Mar. Para propor o sistema de deteção final existiu a necessidade de definir a arquitetura que se pretendia aplicar a este sistema de deteção, validando-a através da realização de diferentes testes ao protótipo desenvolvido para o efeito.

Comparação entre o protótipo desenvolvido e os diferentes sistemas de deteção de Homem ao Mar

No capítulo 2 são apresentados diferentes dispositivos de deteção de Homem ao Mar, que representam a generalidade dos sistemas deste tipo atualmente existentes. Por outro lado, no capítulo 4 é desenvolvido um protótipo experimental, com o objetivo de verificar a aplicabilidade da arquitetura proposta para um novo sistema de deteção. Para comparar o protótipo desenvolvido com os restantes dispositivos, compara-se, de seguida, as diferenças existentes entre o custo, o alcance e a autonomia dos diferentes dispositivos:

- Relativamente ao protótipo desenvolvido, considerando a soma de valores do material adquirido, apresenta um custo total de 47,5 Euros, tendo o protótipo desenvolvido para a estação base um custo de 12 Euros e o protótipo desenvolvido para o dispositivo de deteção individual um custo de 35,5 Euros. O valor total do protótipo é muito inferior ao valor dos restantes

dispositivos de deteção apresentados;

- Quanto ao alcance das comunicações LoRa, através dos testes realizados com o protótipo, foi possível alcançar com facilidade uma distância de aproximadamente 515 m. Mesmo que não tenha sido testado a distância máxima de comunicações através dos testes realizados com o protótipo, quando comparado com os restantes dispositivos e com as tecnologias utilizadas pelos mesmos, o valor verificado é superior ao valor máximo de 3 dos dispositivos de deteção apresentados (Sea-Tags, OLAS Tag e Raymarina LifeTag);
- Em termos de autonomia, o protótipo desenvolvido permite uma autonomia de 22 h em modo contínuo de funcionamento e de 56 h se considerarmos a sua utilização em modo adormecido durante 90% do tempo. Este valor, quando comparado com a autonomia dos restantes dispositivos acaba por não ser satisfatório, existindo a necessidade de diminuir o consumo de energia do dispositivo, principalmente durante a utilização do microcontrolador no modo adormecido. Ainda assim, tendo em conta o desenvolvimento do protótipo apenas para a realização de testes que permitissem suportar o conceito apresentado, e considerando a solução sugerida na secção 6.2 do capítulo 6 para minimizar o consumo de energia do sistema final, pode-se afirmar ser possível alcançar valores de consumo de energia bastante reduzidos, contribuindo positivamente para reduzir a necessidade de manutenção do dispositivo individual de deteção.

Trabalho realizado

Através dos diferentes testes realizados ao protótipo desenvolvido, e de acordo com os resultados observados, foi possível confirmar que a arquitetura proposta se adequa de forma positiva ao desenvolvimento de um sistema de deteção de Homem ao Mar, destacando-se principalmente a capacidade de rápida deteção de situação de Homem ao Mar, bem como o alcance de comunicações alcançado através do módulo LoRa.

Embora a arquitetura proposta entenda a utilização de diferentes componentes eletrónicos de relativa complexidade (desde o microcontrolador de pequenas dimensões e baixo consumo energético, até à existência de um acelerómetro para a deteção de queda), e tendo existido a necessidade de compreender de que forma seria possível tirar partido das principais funcionalidades desses dispositivos, programando-os para desempenhar diferentes funções e testando o seu comportamento em diferentes situações, foi possível verificar a capacidade do protótipo desenvolvido detetar facilmente uma situação de Homem ao Mar, durante os testes realizados.

Apesar dos resultados encontrados através da realização dos diferentes testes terem sido bastante positivos, é necessário realizar ainda algum trabalho no sentido de poder realmente desenvolver um sistema de deteção de Homem ao Mar aplicável na Marinha Portuguesa. Destaca-se

de seguida alguns aspetos que devem ser considerados para realização de trabalho futuro:

- Pesquisar acerca de soluções que permitam reduzir o consumo de energia, permitindo a utilização da bateria de alimentação por um longo período de tempo;
- Reduzir as dimensões do dispositivo individual através do desenvolvimento de uma placa com características específicas para tal;
- Reduzir ao máximo o tamanho do pacote de dados enviado através da comunicação LoRa, para garantir um maior alcance e uma maior probabilidade de receção na estação base;
- Localizar diretamente o elemento em situação de Homem ao Mar através do sistema ECDIS.

Referências bibliográficas

- Banggood. (2019a). 6DOF MPU-6050 3 Axis Gyro With Accelerometer Sensor Module For Arduino. Obtido de <https://www.banggood.com/6DOF-MPU-6050-3-Axis-Gyro-With-Accelerometer-Sensor-Module-For-Arduino-p-80862.html>
- Banggood. (2019b). LILYGO® TTGO T-Beam. Obtido de <https://www.banggood.com/LILYGO-TTGO-T-Beam-ESP32-433868915Mhz-WiFi-Wireless-bluetooth-Module-p-1320390.html>
- Banggood. (2019c). Snow Raindrops Humidity Rain Weather Detect Sensor Module For Arduino. Obtido de <https://www.banggood.com/Snow-Raindrops-Humidity-Rain-Weather-Detect-Sensor-Module-For-Arduino-p-85289.html>
- Banggood. (2019d). TTGO LoRa32. Obtido de https://www.banggood.com/2Pcs-LILYGO-TTGO-LORA32-915Mhz-ESP32-LoRa-OLED-0%7B%5C_%7D96-Inch-Blue-Display-p-1239769.html
- Chen, D., Feng, W., Zhang, Y., Li, X. & Wang, T. (2011). A wearable wireless fall detection system with accelerators. *2011 IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics, ROBIO 2011*, (2), 2259–2263. doi:10.1109/ROBIO.2011.6181634
- CNCS. (2019). A Internet das Coisas (IoT – Internet of Things). Obtido de <https://www.cncs.gov.pt/a-internet-das-coisas-iot-internet-of-things/>
- Da Silva, H. P., Guerreiro, J., Lourenço, A., Fred, A. L. & Martins, R. (2014). BITalino: A novel hardware framework for physiological computing. Em *PhyCS* (pp. 246–253).
- Ebay. (2019). RED Ultrafire 18650 4200mAh 3.7V Rechargeable Li-ion Battery Flashlight torch. Obtido de <https://www.ebay.com/itm/RED-Ultrafire-18650-4200mAh-3-7V-Rechargeable-Li-ion-Battery-Flashlight-torch/173938351518>
- Emerald Marine Products. (2017). *ALERT418® Man-Overboard Transmitter with Spray Tight Pouch* (tese de doutoramento). Obtido de <http://emeraldmarineproducts.com/product/alert418-man-overboard-transmitter-with-spray-tight-pouch/>
- Espressif Systems (Shanghai) CO. (2019a). About Espressif. Obtido de <https://www.espressif.com/en/company/about-us/who-we-are>
- Espressif Systems (Shanghai) CO. (2019b). *ESP32 Series Datasheet*. Obtido de https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

- Gearbest. (2019). 3.7V 700mAh Bateria de LiPo Compatível com SKY Hawkeye HM1315S RC Quadcopter - Prata. Obtido de https://pt.gearbest.com/rc-quadcopters-parts/pp_159518.html
- Gudino, M. (2018). What is a Microcontroller? Obtido 21 junho 2019, de <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/engineering-basics-what-is-a-microcontroller>
- InvenSense. (2013). *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4*. Obtido de https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050_DataSheet_V3
- Last Minute Engineers. (2019). Insight Into ESP32 Sleep Modes & Their Power Consumption. Obtido de <https://lastminuteengineers.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/>
- Lora Alliance. (2019). LoRa Alliance Introduction. Obtido de <https://lora-alliance.org/about-lorawan>
- Marine Rescue Technologies. (2014). sMRT V100. Obtido de <https://www.mrtsos.com/products/personal-locator-beacons/smrt-v100>
- Martek Marine Ltd. (2019). What is ECDIS? Obtido de http://www.ecdis-info.com/about_ecdis.html
- Monteiro, C. S. (2012). *Manual de GPS e de DGPS*, Escola Naval.
- OpenCPN. (2019). About OpenCPN. Obtido de <https://opencpn.org/OpenCPN/info/about.html>
- PCB Piezotronics. (2019). Introduction to MEMS Accelerometers. Obtido de <https://www.pcb.com/resources/technical-information/mems-accelerometers>
- PureTech Systems. (2017). Man Overboard Detection. Obtido de <https://www.puretechsystems.com/man-overboard-detection.html>
- Random Nerd Tutorials. (2019a). ESP32 ADC – Read Analog Values with Arduino IDE. Obtido de <https://randomnerdtutorials.com/esp32-adc-analog-read-arduino-ide/>
- Random Nerd Tutorials. (2019b). Guide for Rain Sensor FC-37 or YL-83 with Arduino. Obtido de <https://randomnerdtutorials.com/guide-for-rain-sensor-fc-37-or-yl-83-with-arduino/>
- Raymarine. (2006). Raymarine LifeTag. Obtido de <http://www.raymarine.com/view/?id=715>
- Ross A. Klein. (2019). Cruise and Ferry Passengers and Crew Overboard. Obtido 27 agosto 2019, de <http://www.cruisejunkie.com/Overboard.html>
- Sea Tags. (2017). Sea-Tags. Obtido de <https://sea-tags.com/how-it-works/?lang=en>
- Semtech. (2015). *SEMTECH SX1276/77/78/79 Datasheet*. Obtido de <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1276>
- Semtech. (2019). What is LoRa? Obtido de <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- Spinks, R. (2018). How often do people fall overboard on cruise ships? Obtido de <https://qz.com/quartz/1321000/how-often-do-people-fall-overboard-on-cruise-ships/>
- Susanti, I. (2016). Fall Detection of Old Man Using Cayenne. Obtido de <https://www.instructables.com/id/Fall-Detection-of-Old-Man-Using-Cayenne/>

- Treaty, N. A. (2008). *Survival at Sea for Mariners , Aviators and Search and Rescue Personnel (Survie en mer pour les marins , les aviateurs et* (rel. téc. N.º February).
- U-Blox. (2015). *NEO-M8 Datasheet*. Obtido de <https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series>
- Ultimate Sports Engineering Ltd. (2018). OLAS Tag. Obtido de <https://alertandfind.com/product/overboard-alarms/olas-tag>
- Vaisala. (2015). *YL-83 Rain Detector Datasheet*. Obtido de https://urolakostapk.files.wordpress.com/2016/10/yl-83-rain-detector-datasheet_low.pdf

Apêndice A

Código desenvolvido para testes iniciais

A.1 Comunicação LoRa

```
1 #include <TinyGPS++.h>
2 #include <LoRa.h>
3
4 TinyGPSPlus gps;
5
6 #define SS      18
7 #define RST     23
8 #define DI0     26
9 #define BAND    433E6
10
11 void setup() {
12     Serial.begin(115200);
13     Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, 12, 15);
14     LoRa.setPins(SS, RST, DI0);
15     LoRa.begin(BAND);
16     Serial.println("ESP32_Start");
17 }
18
19 void loop () {
20     Serial.println("Sending_MOB_ALARM");
```

```

21  packet_coordinates();
22  }
23
24  void packet_coordinates() {
25      float latitude = gps.location.lat();
26
27      if (latitude < 0) {
28          latitude = latitude * -1;
29      }
30
31      float longitude = gps.location.lng();
32
33      if (longitude < 0) {
34          longitude = longitude * -1;
35      }
36
37      int latitudeD = floor(latitude);
38      float latitudeDM = ((latitude - latitudeD) * 60);
39
40      int longitudeD = floor(longitude);
41      int longitudeD0 = longitudeD * 10;
42      float longitudeDM = ((longitude - longitudeD) * 60);
43
44      smartDelay(1000);
45
46      LoRa.beginPacket();
47      //LoRa.println("MOB ALARM");
48      LoRa.print("$GPGGA," + String((gps.time.value())/100) + "," + String(
          latitudeD) + String(latitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.
          rawLng().negative ? "N" : "S") + "," + String(longitudeD0) +
          String(longitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.rawLng().
          negative ? "W" : "E") + ",1," + String(gps.satellites.value())+"\n");
49      LoRa.print("$GPRMC," + String((gps.time.value())/100) + ",A," +
          String(latitudeD) + String(latitudeDM, 5) + "," + String(gps.
          location.rawLng().negative ? "N" : "S") + "," + String(
          longitudeD0) + String(longitudeDM, 5) + "," + String(gps.location

```

```

        .rawLng().negative ? "W" : "E") + "," + String(gps.speed.knots())
        + "," + String(gps.course.deg()) + "," + String(gps.date.value()
        )+ "\n");
50    LoRa.endPacket();
51 }
52
53 static void smartDelay(unsigned long ms) {
54     unsigned long start = millis();
55     do {
56         while (Serial1.available())
57             gps.encode(Serial1.read());
58     } while (millis() - start < ms);
59 }

```

A.2 Detecção de água

```

1 #include <TinyGPS++.h>
2 #include <LoRa.h>
3
4 TinyGPSPPlus gps;
5
6 #define SS      18
7 #define RST     23
8 #define DI0     26
9 #define BAND    433E6
10 #define WATER_PIN 0
11
12 bool notdetect = true;
13 int water_sensor = 0;
14
15 void setup() {
16     Serial.begin(115200);
17     Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, 12, 15);
18     LoRa.setPins(SS, RST, DI0);
19     LoRa.begin(BAND);
20     Serial.println("ESP32_Start");
21     Serial.println("Teste_de_dete o_de_ gua _seguido_de_comunica o_

```

```

        LoRa");
22 }
23
24 void loop () {
25
26     if (notdetect) {
27         water_sensor = analogRead(WATER_PIN);
28         Serial.println("Water_value:_" + String(water_sensor));
29
30         if (water_sensor <= 1350) {
31             notdetect = false;
32         }
33     }
34
35     else {
36         Serial.println("Humidity_sensor_has_been_triggered.");
37         Serial.println("Sending_GPS_coordinates_and_MOB_ALARM");
38         packet_coordinates();
39     }
40 }
41
42
43 void packet_coordinates() {
44     float latitude = gps.location.lat();
45
46     if (latitude < 0) {
47         latitude = latitude * -1;
48     }
49
50     float longitude = gps.location.lng();
51
52     if (longitude < 0) {
53         longitude = longitude * -1;
54     }
55
56     int latitudeD = floor(latitude);
57     float latitudeDM = ((latitude - latitudeD) * 60);

```

```

58
59  int longitudeD = floor(longitude);
60  int longitudeD0 = longitudeD * 10;
61  float longitudeDM = ((longitude - longitudeD) * 60);
62
63  smartDelay(1000);
64
65  LoRa.beginPacket();
66  LoRa.println("MOB_ALARM");
67  LoRa.print("$GPGGA," + String(gps.time.value()) + "," + String(
    latitudeD) + String(latitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.
    rawLng().negative ? "N" : "S") + "," + String(longitudeD0) +
    String(longitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.rawLng().
    negative ? "W" : "E") + ",1," + String(gps.satellites.value()));
68  LoRa.print("GPRMC," + String(gps.time.value()) + ",A," + String(
    latitudeD) + String(latitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.
    rawLng().negative ? "N" : "S") + "," + String(longitudeD0) +
    String(longitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.rawLng().
    negative ? "W" : "E") + "," + String(gps.speed.knots()) + "," +
    String(gps.course.deg()) + "," + String(gps.date.value()));
69  LoRa.endPacket();
70 }
71
72 static void smartDelay(unsigned long ms) {
73   unsigned long start = millis();
74   do {
75     while (Serial1.available())
76       gps.encode(Serial1.read());
77   } while (millis() - start < ms);
78 }

```

A.3 Detecção de queda

```

1 #include "I2Cdev.h"
2 #include "MPU6050.h"
3 #include "Wire.h"
4 #include <TinyGPS++.h>

```

```

5 #include <LoRa.h>
6
7 MPU6050 mpu;
8 TinyGPSPPlus gps;
9
10 #define SS      18
11 #define RST      23
12 #define DI0      26
13 #define BAND  433E6
14 #define MOB 25
15
16 volatile bool detect = false;
17
18 void setup() {
19   Wire.begin();
20   mpu.initialize();
21   mpu.setDMPEnabled(true);
22   mpu.setIntFreefallEnabled(true);
23   mpu.setIntZeroMotionEnabled(false);
24   mpu.setIntMotionEnabled(false);
25   mpu.setFreefallDetectionThreshold(17);
26   mpu.setFreefallDetectionDuration(2);
27   pinMode(MOB, INPUT_PULLUP);
28   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(MOB), detectfall, RISING);
29   Serial.begin(115200);
30   Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, 12, 15);
31   LoRa.setPins(SS, RST, DI0);
32   LoRa.begin(BAND);
33   Serial.println("ESP32_Start");
34   Serial.println("Teste_de_dete o_de_queda_seguido_de_comunica o_
        LoRa");
35 }
36
37 void loop() {
38   if (detect) {
39     Serial.println("Detetada_uma_queda.");
40     Serial.println("A_enviar_MOB_ALARM.");

```



```

41     packet_coordinates();
42 }
43 }
44
45 void detectfall() {
46     detect = true;
47 }
48
49 void packet_coordinates() {
50     float latitude = gps.location.lat();
51
52     if (latitude < 0) {
53         latitude = latitude * -1;
54     }
55
56     float longitude = gps.location.lng();
57
58     if (longitude < 0) {
59         longitude = longitude * -1;
60     }
61
62     int latitudeD = floor(latitude);
63     float latitudeDM = ((latitude - latitudeD) * 60);
64
65     int longitudeD = floor(longitude);
66     int longitudeD0 = longitudeD * 10;
67     float longitudeDM = ((longitude - longitudeD) * 60);
68
69     smartDelay(1000);
70
71     LoRa.beginPacket();
72     LoRa.println("MOB_ALARM");
73     LoRa.print("$GPGGA," + String(gps.time.value()) + "," + String(
        latitudeD) + String(latitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.
        rawLng().negative ? "N" : "S") + "," + String(longitudeD0) +
        String(longitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.rawLng().
        negative ? "W" : "E") + ",1," + String(gps.satellites.value()));

```

```

74  LoRa.print("GPRMC," + String(gps.time.value()) + ",A," + String(
    latitudeD) + String(latitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.
    rawLng().negative ? "N" : "S") + "," + String(longitudeD0) +
    String(longitudeDM, 5) + "," + String(gps.location.rawLng().
    negative ? "W" : "E") + "," + String(gps.speed.knots()) + "," +
    String(gps.course.deg()) + "," + String(gps.date.value()));
75  LoRa.endPacket();
76 }
77
78 static void smartDelay(unsigned long ms) {
79   unsigned long start = millis();
80   do {
81     while (Serial1.available())
82       gps.encode(Serial1.read());
83   } while (millis() - start < ms);
84 }

```

Apêndice B

Código utilizado para a definição de valores de correção MPU6050

```
1 // Arduino sketch that returns calibration offsets for MPU6050
2 //   Version 1.1   (31th January 2014)
3 //   Done by Luis R denas <luisrodenaslorda@gmail.com>
4 //   Based on the I2Cdev library and previous work by Jeff Rowberg <
      jeff@rowberg.net>
5 //   Updates (of the library) should (hopefully) always be available at
      https://github.com/jrowberg/i2cdevlib
6
7 //   These offsets were meant to calibrate MPU6050's internal DMP, but
      can be also useful for reading sensors.
8 //   The effect of temperature has not been taken into account so I can't
      promise that it will work if you
9 //   calibrate indoors and then use it outdoors. Best is to calibrate and
      use at the same room temperature.
10
11 /* =====  LICENSE  =====
12 I2Cdev device library code is placed under the MIT license
13 Copyright (c) 2011 Jeff Rowberg
14
15 Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining
      a copy
16 of this software and associated documentation files (the "Software"),
```

```

    to deal
17 in the Software without restriction, including without limitation the
    rights
18 to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or
    sell
19 copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
20 furnished to do so, subject to the following conditions:
21
22 The above copyright notice and this permission notice shall be
    included in
23 all copies or substantial portions of the Software.
24
25 THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND,
    EXPRESS OR
26 IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF
    MERCHANTABILITY,
27 FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT
    SHALL THE
28 AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER
29 LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE,
    ARISING FROM,
30 OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS
    IN
31 THE SOFTWARE.
32 =====
33 */
34
35 // I2Cdev and MPU6050 must be installed as libraries
36 #include "I2Cdev.h"
37 #include "MPU6050.h"
38 #include "Wire.h"
39
40 //////////////////////////////////////// CONFIGURATION
    ////////////////////////////////////////
41 //Change this 3 variables if you want to fine tune the skeeth to your
    needs.
42 int buffersize=1000;    //Amount of readings used to average, make it

```

```

        higher to get more precision but sketch will be slower (default
        :1000)
43 int acel_deadzone=8;      //Acelerometer error allowed, make it lower to
        get more precision, but sketch may not converge (default:8)
44 int giro_deadzone=1;      //Giro error allowed, make it lower to get
        more precision, but sketch may not converge (default:1)
45
46 // default I2C address is 0x68
47 // specific I2C addresses may be passed as a parameter here
48 // AD0 low = 0x68 (default for InvenSense evaluation board)
49 // AD0 high = 0x69
50 //MPU6050 accelgyro;
51 MPU6050 accelgyro(0x68); // <-- use for AD0 high
52
53 int16_t ax, ay, az,gx, gy, gz;
54
55 int mean_ax,mean_ay,mean_az,mean_gx,mean_gy,mean_gz,state=0;
56 int ax_offset,ay_offset,az_offset,gx_offset,gy_offset,gz_offset;
57
58 //////////////////////////////////////// SETUP
        ////////////////////////////////////////
59 void setup() {
60   // join I2C bus (I2Cdev library doesn't do this automatically)
61   Wire.begin();
62   // COMMENT NEXT LINE IF YOU ARE USING ARDUINO DUE
63   //TWBR = 24; // 400kHz I2C clock (200kHz if CPU is 8MHz). Leonardo
        measured 250kHz.
64
65   // initialize serial communication
66   Serial.begin(115200);
67
68   // initialize device
69   accelgyro.initialize();
70
71   // wait for ready
72   while (Serial.available() && Serial.read()); // empty buffer
73   while (!Serial.available()){

```

```

74     Serial.println(F("Send_any_character_to_start_sketch.\n"));
75     delay(1500);
76 }
77 while (Serial.available() && Serial.read()); // empty buffer again
78
79 // start message
80 Serial.println("\nMPU6050_Calibration_Sketch");
81 delay(2000);
82 Serial.println("\nYour_MPU6050_should_be_placed_in_horizontal_
    position,_with_package_letters_facing_up._\nDon't_touch_it_until_
    you_see_a_finish_message.\n");
83 delay(3000);
84 // verify connection
85 Serial.println(accelgyro.testConnection() ? "MPU6050_connection_
    successful" : "MPU6050_connection_failed");
86 delay(1000);
87 // reset offsets
88 accelgyro.setXAccelOffset(0);
89 accelgyro.setYAccelOffset(0);
90 accelgyro.setZAccelOffset(0);
91 accelgyro.setXGyroOffset(0);
92 accelgyro.setYGyroOffset(0);
93 accelgyro.setZGyroOffset(0);
94 }
95
96 ////////////////////////////////////// LOOP
    //////////////////////////////////////
97 void loop() {
98     if (state==0){
99         Serial.println("\nReading_sensors_for_first_time...");
100         meansensors();
101         state++;
102         delay(1000);
103     }
104
105     if (state==1) {
106         Serial.println("\nCalculating_offsets...");

```

```

107     calibration();
108     state++;
109     delay(1000);
110 }
111
112 if (state==2) {
113     meansensors();
114     Serial.println("\nFINISHED!");
115     Serial.print("\nSensor_readings_with_offsets:\t");
116     Serial.print(mean_ax);
117     Serial.print("\t");
118     Serial.print(mean_ay);
119     Serial.print("\t");
120     Serial.print(mean_az);
121     Serial.print("\t");
122     Serial.print(mean_gx);
123     Serial.print("\t");
124     Serial.print(mean_gy);
125     Serial.print("\t");
126     Serial.println(mean_gz);
127     Serial.print("Your_offsets:\t");
128     Serial.print(ax_offset);
129     Serial.print("\t");
130     Serial.print(ay_offset);
131     Serial.print("\t");
132     Serial.print(az_offset);
133     Serial.print("\t");
134     Serial.print(gx_offset);
135     Serial.print("\t");
136     Serial.print(gy_offset);
137     Serial.print("\t");
138     Serial.println(gz_offset);
139     Serial.println("\nData_is_printed_as:_acelX_acelY_acelZ_giroX_giroY
        _giroZ");
140     Serial.println("Check_that_your_sensor_readings_are_close_to_0_0_
        16384_0_0_0");
141     Serial.println("If_calibration_was_succesful_write_down_your_

```

```

        offsets_so_you_can_set_them_in_your_projects_using_something_
        similar_to_mpu.setXAccelOffset(youroffset)");
142     while (1);
143 }
144 }
145
146 ////////////////////////////////////////    FUNCTIONS
        ////////////////////////////////////////
147 void meansensors() {
148     long i=0,buff_ax=0,buff_ay=0,buff_az=0,buff_gx=0,buff_gy=0,buff_gz=0;
149
150     while (i<(buffersize+101)){
151         // read raw accel/gyro measurements from device
152         accelgyro.getMotion6(&ax, &ay, &az, &gx, &gy, &gz);
153
154         if (i>100 && i<=(buffersize+100)){ //First 100 measures are
            discarded
155             buff_ax=buff_ax+ax;
156             buff_ay=buff_ay+ay;
157             buff_az=buff_az+az;
158             buff_gx=buff_gx+gx;
159             buff_gy=buff_gy+gy;
160             buff_gz=buff_gz+gz;
161         }
162         if (i==(buffersize+100)){
163             mean_ax=buff_ax/buffersize;
164             mean_ay=buff_ay/buffersize;
165             mean_az=buff_az/buffersize;
166             mean_gx=buff_gx/buffersize;
167             mean_gy=buff_gy/buffersize;
168             mean_gz=buff_gz/buffersize;
169         }
170         i++;
171         delay(2); //Needed so we don't get repeated measures
172     }
173 }
174

```



```

175 void calibration() {
176     ax_offset=-mean_ax/8;
177     ay_offset=-mean_ay/8;
178     az_offset=(16384-mean_az)/8;
179
180     gx_offset=-mean_gx/4;
181     gy_offset=-mean_gy/4;
182     gz_offset=-mean_gz/4;
183     while (1) {
184         int ready=0;
185         accelgyro.setXAccelOffset(ax_offset);
186         accelgyro.setYAccelOffset(ay_offset);
187         accelgyro.setZAccelOffset(az_offset);
188
189         accelgyro.setXGyroOffset(gx_offset);
190         accelgyro.setYGyroOffset(gy_offset);
191         accelgyro.setZGyroOffset(gz_offset);
192
193         meansensors();
194         Serial.println("...");
195
196         if (abs(mean_ax)<=acel_deadzone) ready++;
197         else ax_offset=ax_offset-mean_ax/acel_deadzone;
198
199         if (abs(mean_ay)<=acel_deadzone) ready++;
200         else ay_offset=ay_offset-mean_ay/acel_deadzone;
201
202         if (abs(16384-mean_az)<=acel_deadzone) ready++;
203         else az_offset=az_offset+(16384-mean_az)/acel_deadzone;
204
205         if (abs(mean_gx)<=giro_deadzone) ready++;
206         else gx_offset=gx_offset-mean_gx/(giro_deadzone+1);
207
208         if (abs(mean_gy)<=giro_deadzone) ready++;
209         else gy_offset=gy_offset-mean_gy/(giro_deadzone+1);
210
211         if (abs(mean_gz)<=giro_deadzone) ready++;

```

```
212     else gz_offset=gz_offset-mean_gz/(giro_deadzone+1);  
213  
214     if (ready==6) break;  
215 }  
216 }
```

Apêndice C

Código desenvolvido para o dispositivo individual de detecção

```
1 #include "I2Cdev.h"
2 #include "MPU6050.h"
3 #include "Wire.h"
4 #include <TinyGPS++.h>
5 #include <LoRa.h>
6
7 MPU6050 mpu;
8 TinyGPSPlus gps;
9
10 #define SS      18
11 #define RST      23
12 #define DIO      26
13 #define BAND    433E6
14 #define WATER_PIN 0
15 #define LED_PIN 4
16 #define INTERRUPT_PIN 2
17 #define BUTTON_PIN_BITMASK 0x20000004 // GPIO2 (Button) and GPIO25 (
    MPU6050 Interrupt)
18
19 RTC_DATA_ATTR bool notdetect = true;
20 RTC_DATA_ATTR bool firsttime = true;
21
```

```

22 int water_sensor = 0;
23 unsigned long t0 = 0;
24
25
26 void setup() {
27     esp_sleep_enable_ext1_wakeup(BUTTON_PIN_BITMASK,
        ESP_EXT1_WAKEUP_ANY_HIGH);
28
29     if (firsttime) {
30         Wire.begin();
31         mpu.initialize();
32         mpu.setXGyroOffset(-5);
33         mpu.setYGyroOffset(43);
34         mpu.setZGyroOffset(-9);
35         mpu.setXAccelOffset(-3083);
36         mpu.setYAccelOffset(2814);
37         mpu.setZAccelOffset(1526);
38         mpu.setDMPEnabled(true);
39         mpu.setIntFreefallEnabled(true);
40         mpu.setIntZeroMotionEnabled(false);
41         mpu.setIntMotionEnabled(false);
42         mpu.setFreefallDetectionThreshold(17);
43         mpu.setFreefallDetectionDuration(2);
44         Serial.begin(115200);
45         firsttime = false;
46         delay(1000);
47         esp_deep_sleep_start();
48     }
49
50     else {
51         t0 = millis();
52         Serial.begin(115200);
53         Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, 12, 15);
54         LoRa.setPins(SS, RST, DI0);
55         LoRa.begin(BAND);
56         pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
57         delay(1000);

```

```

58     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(INTERRUPT_PIN), sleep_again,
        HIGH);
59 }
60 }
61
62 void loop() {
63     mob_alarm();
64 }
65
66 void sleep_again() {
67     firsttime = true;
68     digitalWrite(LED_PIN, LOW);
69     esp_deep_sleep_start();
70 }
71
72 void mob_alarm() {
73     int aux_wakeup_by = esp_sleep_get_ext1_wakeup_status();
74     int wakeup_by = (log(aux_wakeup_by)) / log(2);
75
76     if (wakeup_by == 2) {
77         packet();
78         led_on();
79     }
80
81     if (wakeup_by == 25) {
82         led_blink();
83         unsigned long t = millis();
84
85         if (notdetect) {
86             if ((t - t0) < 60000) {
87                 water_sensor = analogRead(WATER_PIN);
88
89                 if (water_sensor <= 1350) {
90                     notdetect = false;
91                 }
92             }
93

```

```

94     if ((t - t0) >= 60000) {
95         esp_deep_sleep_start();
96     }
97 }
98
99 else {
100     packet();
101     led_on();
102 }
103 }
104 }
105
106 void led_on () {
107     digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
108 }
109
110 void led_blink() {
111     digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
112     delay(500);
113     digitalWrite(LED_PIN, LOW);
114     delay(500);
115 }
116
117 void packet() {
118     float latitude = gps.location.lat();
119
120     if (latitude < 0) {
121         latitude = latitude * -1;
122     }
123
124     float longitude = gps.location.lng();
125
126     if (longitude < 0) {
127         longitude = longitude * -1;
128     }
129
130     int latitudeD = floor(latitude);

```

```

131 float latitudeDM = ((latitude - latitudeD) * 60);
132
133 int longitudeD = floor(longitude);
134 int longitudeD0 = longitudeD * 10;
135 float longitudeDM = ((longitude - longitudeD) * 60);
136
137 smartDelay(1000);
138
139 LoRa.beginPacket();
140 LoRa.println("MOB_ALARM");
141 LoRa.print("$GPGGA," + String((gps.time.value()) / 100) + "," +
    String(latitudeD) + String(latitudeDM, 5) + "," + String(gps.
    location.rawLng().negative ? "N" : "S") + "," + String(
    longitudeD0) + String(longitudeDM, 5) + "," + String(gps.location
    .rawLng().negative ? "W" : "E") + ",1," + String(gps.satellites.
    value()) + "\n");
142 LoRa.print("$GPRMC," + String((gps.time.value()) / 100) + ",A," +
    String(latitudeD) + String(latitudeDM, 5) + "," + String(gps.
    location.rawLng().negative ? "N" : "S") + "," + String(
    longitudeD0) + String(longitudeDM, 5) + "," + String(gps.location
    .rawLng().negative ? "W" : "E") + "," + String(gps.speed.knots())
    + "," + String(gps.course.deg()) + "," + String(gps.date.value()
    ) + "\n");
143 LoRa.endPacket();
144 }
145
146 static void smartDelay(unsigned long ms) {
147     unsigned long start = millis();
148     do {
149         while (Serial1.available())
150             gps.encode(Serial1.read());
151     } while (millis() - start < ms);
152 }

```


Apêndice D

Código desenvolvido para a estação base

```
1 #include <SPI.h>
2 #include <LoRa.h>
3
4 void setup() {
5     Serial.begin(115200);
6     while (!Serial);
7     LoRa.setPins(18,14,26); //LoRa.setPins(CS,RESET,IRQ)
8
9     if (!LoRa.begin(433E6)) {
10         while (1);
11     }
12 }
13
14 void loop() {
15     int packetSize = LoRa.parsePacket();
16     if (packetSize) {
17         while (LoRa.available()) {
18             Serial.print((char) LoRa.read());
19         }
20     }
21 }
```